

Aus dem Institut für
Physiologie, Physiologische Chemie und Tierernährung
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München
Lehrstuhl für Tierernährung und Diätetik
Geschäftsführender Vorstand:
Univ.-Prof. Dr. H.-J. Gabius

Arbeit angefertigt unter der Leitung von
Prof. Dr. W. A. Rambeck

Untersuchung zur quantitativen Erfassung der Harnansäuerung durch Kalziumchlorid bei der Katze

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

von
Gesa Arens
aus München

München 2006

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität München

Dekan: Univ.-Prof. Dr. E. P. Märtlbauer

Referent: Prof. Dr. W. Rambeck

Korreferentin: Univ.-Prof. Dr. K. Hartmann

Tag der Promotion: 28. Juli 2006

Für
Shine

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Problemstellung	9
2 Literaturübersicht	11
2.1 Struviturolithiasis bei Katzen	11
2.2 Epidemiologische Faktoren zur Struviturolithiasis	12
2.3 Ätiopathogenese der Struviturolithiasis	15
2.3.1 Formalgenese	15
2.3.2 Kausalgenese	18
2.4 Bedeutung der Fütterung für das Wachstum von Struvitkristallen	21
2.4.1 pH-Wert	22
2.4.2 Mineralstoffe	22
2.4.3 Kationen-Anionen-Bilanz	26
2.4.4 Protein, Fett und Faserstoffe	28
2.4.5 Wassergehalt	29
2.4.6 Fütterungsmethode	29
2.5 Therapie und Prophylaxe einer Struviturolithiasis	30
2.5.1 Konservative Therapie	30
2.5.2 Prophylaktische und therapeutische Fütterung	31
2.5.3 Invasive Therapie	37
2.6 Andere Harnsteinarten bei Katzen	37
3 Material und Methoden	43
3.1 Versuchsaufbau	43
3.2 Versuchstiere	44
3.3 Versuchsfutter	45
3.4 Fütterungstechnik	47
3.5 Probengewinnung	48
3.6 Angewandte Untersuchungsmethoden	50
3.6.1 Harnanalysen	50
3.6.2 Futteranalysen	52
3.6.2.1 Bestimmung des Rohnährstoffgehalts	53
3.6.2.2 Bestimmung des Mineralstoffgehalts	56
3.6.2.3 Berechnung der Kationen-Anionen-Bilanz	60
3.7 Statistische Methoden	60

4 Ergebnisse	62
4.1 Allgemeine Beobachtungen	62
4.1.1 Allgemeinbefinden der Versuchskatzen	62
4.1.2 Gewichtsentwicklung	72
4.1.3 Futterakzeptanz	73
4.1.4 Wasseraufnahme	76
4.2 Futteranalysen	77
4.2.1 Rohnährstoffgehalt	77
4.2.2 Mineralstoffgehalt	79
4.2.3 Kationen-Anionen-Bilanz	81
4.3 Harnanalysen	83
4.3.1 pH-Wert	83
4.3.2 Harnvolumen	94
4.3.3 Spezifisches Gewicht	95
4.3.4 Kalziumgehalt	107
4.3.5 Harnsediment	109
5 Diskussion	110
5.1 Kritik der Methoden	110
5.1.1 Futterakzeptanz	110
5.1.2 Futteranalysen	110
5.1.3 Harnanalysen	111
5.2 Allgemeinbefinden der Versuchskatzen	112
5.3 Futterakzeptanz	113
5.4 Futteranalysen	114
5.5 Harnanalysen	122
5.6 Schlussfolgerung	130
6 Zusammenfassung	132
7 Summary	134
8 Literaturverzeichnis	136
9 Danksagung	147
10 Lebenslauf	149

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schematische Darstellung der Entstehung von Struvitsteinen bei Katzen (nach Hesse et al., 1985)	15
Abbildung 2:	Lösungsverhältnisse im Harn in Abhängigkeit von der Konzentration struvitsteinbildender Stoffe	16
Abbildung 3:	Die Entstehung von Urolithen aufgrund einer Übersättigung des Harns an steinbildenden Komponenten (nach Bartges et al.; 1999)	17
Abbildung 4:	Schematische Darstellung der verschiedenen Abschnitte der Fütterungsstudie	44
Abbildung 5:	Schematische Darstellung der Ansäuerung des in der Fütterungsstudie verwendeten Versuchsfutters mittels Kalziumchlorid und Ammoniumchlorid	47
Abbildung 6:	Schematische Darstellung des zeitlichen Ablaufs der Probensammlung innerhalb der 24stündigen Harngewinnung	50
Abbildung 7:	Die täglich durchschnittlich gefressene Futtermenge in den verschiedenen Versuchsphasen	114
Abbildung 8:	Die Rohnährstoffgehalte des Vergleichsfutters und des unsubstituierten Versuchsfutters, das in Vorperiode 1 beziehungsweise in Vorperiode 2 verabreicht wurde, nach eigener Weender Analyse (TS = Trockensubstanz)	116
Abbildung 9:	Die Mineralstoffgehalte des Vergleichsfutters sowie des unsubstituierten Versuchsfutters von Vorperiode 1 und 2 nach eigener Analyse im Vergleich (TS = Trockensubstanz)	120
Abbildung 10:	Die Mineralstoffgehalte der vier in der Studie verwendeten Versuchsfutter nach eigener Analyse im Vergleich (TS = Trockensubstanz)	120

Abbildung 11:	Die anhand der Mineralstoffgehalte berechnete Kationen-Anionen-Bilanz der in den verschiedenen Versuchsphasen verwendeten Futter (KAB = Kationen-Anionen-Bilanz, TS = Trockensubstanz)	122
Abbildung 12:	Der durchschnittliche Harn-pH-Wert der Versuchstiere in den verschiedenen Versuchsphasen im Verlauf von 24 Stunden	124
Abbildung 13:	Der 24 Stunden-Verlauf der durchschnittlichen Harn-pH-Werte in den vier Versuchsphasen vom Zeitpunkt der Fütterung ab	125
Abbildung 14:	Der berechnete und der gemessene Harn-pH-Wert der verschiedenen Versuchsphasen, vergleichend gegenübergestellt	126
Abbildung 15:	Die Abweichung der gemessenen durchschnittlichen Harn-pH-Werte von den anhand der Kationen-Anionen-Bilanz erwarteten Werte in Prozent	126
Abbildung 16:	Das durchschnittliche Harnvolumen der Versuchstiere in den verschiedenen Versuchsphasen im Verlauf von 24 Stunden	127
Abbildung 17:	Das durchschnittliche spezifische Harngewicht der Versuchstiere in den verschiedenen Versuchsphasen im Verlauf von 24 Stunden	128
Abbildung 18:	Der durchschnittliche Kalziumgehalt des Harns der Versuchstiere in den verschiedenen Versuchsphasen im Verlauf von 24 Stunden	130

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Richtwerte für maßgebliche Nährstoffe bei Prophylaxe und Therapie von Struvitsteinen in kommerziellen Futtermitteln (nach Allen et al., 2002)	34
Tabelle 2: Einzeldaten zu den Versuchskatzen, die Gruppenzugehörigkeit (V = Versuchsgruppe, K = Kontrollgruppe), das Alter (in Jahren), das Geschlecht (m = männlich, w = weiblich, mk = männlich kastriert, wk = weiblich kastriert) und das mittlere Körpergewicht während des Versuchszeitraums (in kg)	45
Tabelle 3: Gehalt an Rohnährstoffen laut Deklaration der Hersteller in Prozent der ursprünglichen Substanz (uS)	46
Tabelle 4: Gehalt an Zusatzstoffen laut Deklaration der Hersteller	46
Tabelle 5: Probedurchlauf einer 24stündigen Harnsammlung zur Überprüfung der gewählten Konservierungsart sowie zur Ermittlung des Zeitintervalls, in dem keine nennenswerte Veränderung der gesuchten Harnparameter stattfindet.	49
Tabelle 6: Ergebnisse der Blutuntersuchungen aus Vollblut und Blutserum der Katzen der Versuchsgruppe zu Beginn sowie bei Beendigung der Studie (MCV = mittleres korpuskuläres Volumen des Einzelerythrozyten, MCH = mittlerer Hämoglobingehalt des Einzelerythrozyten, MCHC = mittlere Hämoglobinkonzentration der Erythrozyten, AST = Aspartat-Amino-Transferase, ALT = Alanin-Amino-Transferase, ALP = Alkalische Phosphatase)	63
Tabelle 7: Ergebnisse der Blutuntersuchungen aus Vollblut und Blutserum der Katzen der Kontrollgruppe zu Beginn sowie bei Beendigung der Studie (MCV = mittleres korpuskuläres Volumen des Einzelerythrozyten, MCH = mittlerer Hämoglobingehalt des Einzelerythrozyten, MCHC = mittlere Hämoglobinkonzentration der Erythrozyten, AST = Aspartat-Amino-Transferase, ALT = Alanin-Amino-Transferase, ALP = Alkalische Phosphatase)	65

Tabelle 8: Durchschnittliche Blutwerte der Katzen der Versuchsgruppe aus Vollblut und Blutserum zu Beginn sowie bei Beendigung der Studie (MCV = mittleres korpuskuläres Volumen des Einzelerythrozyten, MCH = mittlerer Hämoglobingehalt des Einzelerythrozyten, MCHC = mittlere Hämoglobinkonzentration der Erythrozyten, AST = Aspartat-Amino-Transferase, ALT = Alanin-Amino-Transferase, ALP = Alkalische Phosphatase)	68
Tabelle 9: Durchschnittliche Blutwerte der Katzen der Kontrollgruppe aus Vollblut und Blutserum zu Beginn sowie bei Beendigung der Studie (MCV = mittleres korpuskuläres Volumen des Einzelerythrozyten, MCH = mittlerer Hämoglobingehalt des Einzelerythrozyten, MCHC = mittlere Hämoglobinkonzentration der Erythrozyten, AST = Aspartat-Amino-Transferase, ALT = Alanin-Amino-Transferase, ALP = Alkalische Phosphatase)	70
Tabelle 10: Einzelgewicht (in kg) und durchschnittliches Gewicht ($x \pm s$) der 14 Katzen zu Beginn und während des gesamten Versuchszeitraums (AG = Ausgangsgewicht, VP 1 und 2 = Vorperiode 1 und 2, V = Versuchphase)	72
Tabelle 11: Durchschnittlich aufgenommene Futtermenge (in g) jeder Katze pro Tag in den unterschiedlichen Versuchsphasen, aufgeteilt nach Versuchs- und Kontrollgruppe	74
Tabelle 12: Täglich durchschnittlich aufgenommene Futtermenge der Versuchs- und der Kontrollgruppe je Versuchsphase, vergleichend gegenübergestellt	76
Tabelle 13: Rohnährstoffgehalt der verwendeten kommerziellen Feuchtfutter nach institutseigener Weender Analyse (NfE = stickstofffreie Extraktstoffe, TS = Trockensubstanz, uS = ursprüngliche Substanz)	78
Tabelle 14: Rohnährstoffgehalt der verwendeten Versuchsfutter nach institutseigener Weender Analyse (NfE = stickstofffreie Extraktstoffe, TS = Trockensubstanz, uS = ursprüngliche Substanz)	78
Tabelle 15: Mineralstoffgehalt der verwendeten kommerziellen Feuchtfutter nach institutseigener Analyse (TS = Trockensubstanz, uS = ursprüngliche Substanz)	80

Tabelle 16: Mineralstoffgehalt der verwendeten Versuchsfutter nach institutseigener Analyse (TS = Trockensubstanz, uS = ursprüngliche Substanz)	80
Tabelle 17: Die berechneten Ergebnisse der Kationen-Anionen-Bilanz aller verabreichten Futter (in mmol/kg TS)	82
Tabelle 18: Errechneter pH-Wert des Harns nach Verabreichung der jeweiligen Futter	82
Tabelle 19: Die durchschnittlichen Harn-pH-Werte im Verlauf von 24 Stunden in Vorperiode 1 und 2 im Vergleich	84
Tabelle 20: Die durchschnittlichen Harn-pH-Werte im Verlauf von 24 Stunden in Versuchsphase 1, Versuchs- und Kontrollgruppe im Vergleich	86
Tabelle 21: Die durchschnittlichen Harn-pH-Werte im Verlauf von 24 Stunden in Versuchsphase 2, Versuchs- und Kontrollgruppe im Vergleich	88
Tabelle 22: Die durchschnittlichen Harn-pH-Werte im Verlauf von 24 Stunden in Versuchsphase 3, Versuchs- und Kontrollgruppe im Vergleich	90
Tabelle 23: Die durchschnittlichen Harn-pH-Werte im Verlauf von 24 Stunden in Versuchsphase 4, Versuchs- und Kontrollgruppe im Vergleich	92
Tabelle 24: Durchschnittlicher Tages-pH-Wert des Harns aller Versuchskatzen bei Fütterung eines Vergleichsfutters sowie des Versuchsfutters ohne Substitution	93
Tabelle 25: Durchschnittlicher Tages-pH-Wert des Harns der Versuchs- und Kontrollgruppe in den Versuchsphasen	94
Tabelle 26: Das durchschnittlich innerhalb von 24 Stunden abgesetzte Harnvolumen nach Fütterung eines Vergleichsfutters im Gegensatz zum unsubstituierten Versuchsfutter	95
Tabelle 27: Das durchschnittlich innerhalb von 24 Stunden abgesetzte Harnvolumen in den vier Versuchsphasen, Versuchs- und Kontrollgruppe gegenübergestellt	95

Tabelle 28: Das durchschnittliche spezifische Gewicht des Harns im Verlauf von 24 Stunden in Vorperiode 1 und 2 im Vergleich	97
Tabelle 29: Das durchschnittliche spezifische Gewicht des Harns im Verlauf von 24 Stunden in Versuchsphase 1, Versuchs- und Kontrollgruppe im Vergleich	99
Tabelle 30: Das durchschnittliche spezifische Gewicht des Harns im Verlauf von 24 Stunden in Versuchsphase 2, Versuchs- und Kontrollgruppe im Vergleich	101
Tabelle 31: Das durchschnittliche spezifische Gewicht des Harns im Verlauf von 24 Stunden in Versuchsphase 3, Versuchs- und Kontrollgruppe im Vergleich	103
Tabelle 32: Das durchschnittliche spezifische Gewicht des Harns im Verlauf von 24 Stunden in Versuchsphase 4, Versuchs- und Kontrollgruppe im Vergleich	105
Tabelle 33: Das durchschnittliche spezifische Gewicht des Harns innerhalb von 24 Stunden nach Fütterung eines Vergleichsfutters in Gegenüberstellung zum Versuchsfutter ohne Substitution	106
Tabelle 34: Das durchschnittliche spezifische Gewicht des Harns innerhalb von 24 Stunden in den vier Versuchsphasen, Versuchs- und Kontrollgruppe gegenübergestellt	107
Tabelle 35: Der durchschnittliche Kalziumgehalt des Harns innerhalb von 24 Stunden nach Fütterung eines Vergleichsfutters in Gegenüberstellung zum Versuchsfutter ohne Substitution	108
Tabelle 36: Der durchschnittliche Kalziumgehalt des Harns innerhalb von 24 Stunden in den vier Versuchsphasen, Versuchs- und Kontrollgruppe vergleichend gegenübergestellt	109
Tabelle 37: Die Ergebnisse der Sedimentuntersuchung des Harns der Versuchs- und Kontrollgruppe nach 24stündiger Sammlung	109

1 Einleitung und Problemstellung

Urolithiasis ist definiert als das Auftreten kristalloider Konkreme in den harnbildenden und –ableitenden Organen. Das Ausmaß der Biomineralisierung reicht von griesartigem Harnsediment bis zu röntgenologisch nachweisbaren Harnsteinen.

Der bei der Katze am häufigsten anzutreffende Konkrementbildner ist Magnesium-Ammonium-Phosphat, bezeichnet als Struvituroolithiasis. Die Tendenz ist aber rückläufig. Im Gegensatz dazu steigt die Häufigkeit von Kalziumoxalatsteinen bei Katzen stetig an.

Die Ätiopathogenese von Struvitsteinen bei der Katze wird in hohem Maße von der Ernährung der Tiere beeinflusst. So steht die Konkrementbildung in engem Bezug zum Harn-pH-Wert, dem Harnvolumen sowie der Konzentration an Mineralstoffen und deren Löslichkeit im Harn. Ein Harn-pH-Wert von unter 7 wirkt bereits prophylaktisch gegen die Bildung von Magnesium-Ammonium-Phosphatsteinen, ein Wert von unter 6,5 kann sogar die Auflösung der Steine bewirken. Dabei muss aber beachtet werden, dass durch einen sauren Harn die Gefahr der Bildung von Kalziumoxalatsteinen ansteigt.

Anders als beim Hund spielt die bakterielle Infektion der Harnwege und die dadurch bedingte Alkalisierung des Harns als Ursache für die Struvitsteinbildung bei der Katze eine nur untergeordnete Rolle.

Die Beeinflussung des Säure-Basen-Haushalts des Körpers und damit des Harn-pH-Werts durch das Futter kann anhand der Kationen-Anionen-Bilanz des Futters abgeschätzt werden. So führt Kalziumkarbonat, das üblicherweise in kommerziellen Alleinfuttermitteln für Katzen als Kalziumquelle verwendet wird, zu einem Anstieg des pH-Werts im Harn und kann damit das Risiko für die Entstehung von Struvitsteinen erhöhen.

Um die alkalogene Wirkung des Kalziumkarbonats zu umgehen, sollte in der vorliegenden Studie Kalziumchlorid als Kalziumträger eingesetzt werden. Die daraus resultierende Beeinflussung des Säure-Basen-Haushalts und damit des Harn-pH-Wertes sollte dahingehend überprüft werden, ob durch den Zusatz von Kalziumchlorid ein Absenken des Harn-pH-Wertes in einen sauren Bereich erzielt wird und welche Menge zu dem erwünschten Effekt führt. Ein azidogener Effekt des Kalziumchlorids könnte somit sowohl zur Prophylaxe als auch zur Therapie von Struvitsteinen genutzt werden. Diese Wirkung und die entsprechenden Konzentrationen sind für Ammoniumchlorid bereits bekannt und werden therapeutisch genutzt, dies ist jedoch durch die begrenzte Akzeptanz durch die Katzen limitiert.

So wurde in einem ersten Schritt dieser Studie die Auswirkung eines handelsüblichen Alleinfuttermittels für Katzen auf den pH-Wert, das Volumen und das spezifische Gewicht des Harns untersucht.

Der nächste Schritt beinhaltete einen anteiligen Ersatz des Kalziumkarbonats im Futter durch Kalziumchlorid und die Überprüfung der daraus resultierenden Veränderung der Harnparameter.

In einem weiteren Schritt sollte abgeklärt werden, ob durch die zusätzliche Beimengung von Ammoniumchlorid ein postprandialer Anstieg des Harn-pH-Wertes vermieden werden kann.

2 Literaturübersicht

2.1 Struvituroolithiasis bei Katzen

Die allgemein geläufige Bezeichnung Struvituroolithiasis steht für Magnesium-Ammonium-Phosphatsteine, nicht ganz korrekt auch als Tripelphosphat bezeichnet. Sie setzen sich aus Magnesium, Ammonium, Phosphat und Hexahydrat zusammen. Die Formel für Struvitsteine lautet $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \times 6\text{H}_2\text{O}$. Die Kristalle der Struvituroolithen treten typischerweise als sargdeckelartige, orthorhombische Prismen in Erscheinung. Sie sind farblos und können rechteckig oder quadratisch geformt sein. Die Größe der Kristalle variiert. Struvit ist die am häufigsten bei Tieren vorkommende harnsteinbildende Substanz. Struvitsteine wurden bisher bei Schafen, Rindern, Frettchen, Hunden und Katzen beobachtet (Hesse et al., 1998; Osborne et al., 1990).

Die Entstehung von Harnsteinen ist ein multifaktorieller Prozess. Er beginnt mit der Bildung von Mikrokristallen im Urin. Diese können noch in Form einer Kristallurie als sogenannter Harnries ausgeschieden werden oder durch weiteres Wachstum der Kristalle mit der Bildung makroskopischer Urolithen im Harntrakt enden. Dann können die Konkreme nicht mehr über den Harn ausgeschieden werden und führen im schlimmsten Fall zu einer Verlegung der Harnröhre.

Urolithen setzen sich aus kleinen Mengen organischer Matrix und kristalliner Mineralstoffansammlungen zusammen. Ein Harnstein kann aus mehreren Arten von Mineralstoffen bestehen und einen Mischstein bilden. In der Mehrzahl der Fälle dominiert jedoch eine Mineralstoffart. So wird die Häufigkeit des Auftretens von zusammengesetzten Urolithen nach einer Studie von Osborne et al. (1996) mit 2 % angegeben.

Bei Katzen werden am häufigsten Urolithen, bestehend aus Magnesium-Ammonium-Phosphat (Struvit) oder Kalziumoxalat, gefunden (Allen et al., 2002; Osborne et al., 1996).

Struvitsteine sind das Resultat einer Übersättigung des Harns mit Magnesium-Ammonium-Phosphat. Eine Infektion mit Urease-produzierenden Bakterien kann durch die vermehrte Bildung von Ammoniumionen zu einer Übersättigung des Harns beitragen. Struvituroolithiasis kann also in steriler Form vorkommen oder infektiös bedingt sein und im Rahmen einer Harnwegsinfektion auftreten. Bei Katzen ist die Infektion des Harntrakts in den meisten Fällen sekundär als Folge einer Urolithiasis zu sehen. So liegt in etwa 70 % der Fälle die sterile Form vor, wohingegen bei Hunden die infektiöse Form überwiegt (Kraft et al., 2000; Leugner, 1988; Hesse et al., 1985; Sanders et al., 1985).

Als Folge der Konkrementbildung ist die mechanische Beeinträchtigung des Harntrakts von übergeordneter Bedeutung. Abhängig von der Lokalisation, der Größe, der Beschaffenheit sowie der Anzahl der Urolithen können Läsionen und Entzündungen der Schleimhäute verursacht werden. Im schlimmsten Fall ist eine Obstruktion der Harnwege die Folge, die je nach Sitz zu einer Hydronephrose oder einer Dilatation der Blase führen kann, wodurch das Risiko einer Blasenruptur mit nachfolgender Urämie besteht.

Das klinische Erscheinungsbild einer Harnsteinerkrankung wird ebenfalls von Lokalisation, Größe, Beschaffenheit und Anzahl der Steine bestimmt. Die für eine Struvituroolithiasis typischen Blasensteine bedingen häufig eine Dysurie mit terminaler Hämaturie. Bei längerem Bestehen kann es zur Schädigung der Blasenschleimhaut kommen. Die Folgen reichen bis hin zu einer Druckatrophie der Schleimhaut mit Perforation der Blasenwand und nachfolgender Peritonitis. Steine in der Urethra führen dagegen zu den klinischen Symptomen einer Pollakisurie, initialer Hämaturie oder, bei totaler Obstruktion der Harnröhre, zu wiederholten ergebnislosen Versuchen des Harnabsetzens, wobei unter Schmerzäußerungen der erkrankten Tiere allenfalls ein paar Tropfen blutigen Urins abgesetzt werden (Kraft et al., 2000).

Um die Diagnose Urolithiasis zu stellen, ist eine ultrasonographische oder röntgenologische Untersuchung angezeigt, da in den meisten Fällen eine Befunderhebung durch abdominale Palpation nicht möglich ist. Hierbei kann die Gabe von Kontrastmitteln die Darstellung der Harnsteine verbessern. Größere, in der Harnblase lokalisierte Steine können eventuell durch Abtasten bereits diagnostiziert werden (Osborne et al., 1996).

Für die richtigen therapeutischen und prophylaktischen Maßnahmen ist die Kenntnis über die Zusammensetzung des Steins von essentieller Bedeutung. Eine Harnanalyse kann hierüber Aufschluss geben (Allen et al., 2002; Kraft et al., 2000).

2.2 Epidemiologische Faktoren zur Struvituroolithiasis

- **Häufigkeit**

Magnesium-Ammonium-Phosphatsteine sind die dominierende Form der Urolithiasis bei Katzen. Die Tendenz ist jedoch stark rückläufig, wobei die Bedeutung von kalziumhaltigen Harnsteinen, insbesondere Kalziumoxalatsteinen, stetig zunimmt (Lekcharoensuk et al., 2000; Thumchai et al., 1996).

So handelte es sich beispielsweise 1995 bei 48 % der in den Vereinigten Staaten von Amerika und Kanada vorgestellten Fälle von Urolithiasis um Struvitsteine. Das bedeutete im Vergleich zu den 1984 registrierten Krankheitsfällen eine Reduktion um 36 % (Osborne et al., 1996). Buffington (1994) beschreibt einen Anteil an Struvitsteinen von 88 % an den 1984 untersuchten Fällen von Urolithiasis, wogegen Oxalatsteine nur einen Anteil von unter 1 % ausmachten. Im Jahr 1992 kam den Struvitsteinen nur noch ein Anteil von 62 %, den Oxalatsteinen ein Anteil von 24 % zu. Die Prävalenz der in den USA aufgetretenen Erkrankungen von Katzen an Struvitsteinen hielt sich 1998 sogar deutlich unter der 40 % Marke, wobei die Fälle von Kalziumoxalat über 50 % der Urolithen ausmachten (Osborne et al., 1999). Ähnliches wird aus Kanada berichtet. Bei einer Studie von 1998 bis 2003 bestanden annähernd 50 % der untersuchten Konkremente aus Kalziumoxalat und 44 % aus Magnesium-Ammonium-Phosphat (Houston et al., 2003). Eine spanische Untersuchung berichtet 2003 von einem Struvitanteil von 53 % an den analysierten Krankheitsfällen bei Katzen (Escolar et al., 2003).

- **Rasse, Geschlecht, Alter und Gewicht**

Eine Rassenprädisposition für die Entwicklung von Struvitsteinen liegt einer amerikanischen Studie zufolge für die Katzenrassen Chartreux, Exotisch Kurzhaar, Himalayan, Orientalisch Kurzhaar, Ragdoll und die kurzhaarige Hauskatze vor (Lekcharoensuk et al., 2000). Weitere Studien unterstützen diese Ergebnisse mit kleinen Variationen (Ling et al., 1990). Eine Untersuchung beschreibt für die Rassen Burmese, Perser und Himalayan im Vergleich zu anderen Rassen ein geringeres Risiko für die Bildung von Struvitsteinen, wobei nicht reinrassige Katzen im Allgemeinen mit einer größeren Wahrscheinlichkeit erkranken sollen als Reinrassige (Thumchai et al., 1996). Andere Untersuchungsergebnisse hingegen ergaben keine Rassendisposition (Osborne et al., 1996).

Im Allgemeinen sind weibliche Katzen häufiger von Magnesium-Ammonium-Phosphatsteinen betroffen als männliche Katzen. Hierunter erkranken wiederum kastrierte Tiere mit einer höheren Wahrscheinlichkeit als sexuell intakte Tiere (Houston et al., 2003; Lekcharoensuk et al., 2000; Osborne et al., 1996; Hesse et al., 1985).

Die Neigung zur Struvitsteinbildung in Abhängigkeit vom Geschlecht steht in enger Beziehung zum Alter. So sind betroffene Katzen unter zwei Jahren überwiegend männlich, wobei die Weibchen unter erkrankten Tieren mit einem Alter von über zwei Jahren dominieren (Osborne et al., 1996; Ling et al., 1990).

Die meisten Krankheitsfälle treten neueren Ergebnissen nach bei 4 bis 7 jährigen Tieren auf (Lekcharoensuk et al., 2000). In älteren Untersuchungen waren die 1-2 jährigen Tiere am stärksten betroffen. Bei Katzen unter einem Jahr tritt in der Regel aufgrund ihres niedrigen Harn-pH-Wertes keine Struviturolithiasis auf (Osborne et al., 1996; Thumchai et al., 1996).

An Struvitsteinen leidende Katzen sind häufig übergewichtig. So waren beispielsweise bei einer Studie der Urologischen Universitätsklinik Bonn 77 % der an Harnsteinen erkrankten Tiere adipös. Kastration, reine Wohnungshaltung und Überfütterung führen zu reduzierter Bewegung und damit zur Gewichtszunahme der Tiere. Übergewicht und Bewegungsarmut stehen also in engem Zusammenhang mit der Entstehung der Erkrankung (Sanders et al., 1985).

- **Lokalisation**

Harnsteine, bestehend aus Magnesium-Ammonium-Phosphat, sind fast ausschließlich im unteren Harntrakt lokalisiert. Sie werden zum größten Teil in der Harnblase erkrankter Katzen gefunden, wobei bei männlichen Tieren oder Kastraten auch Steine in der Urethra auftreten. Nur bei einem sehr geringen Prozentsatz sind Niere und Ureter betroffen (Hesse et al., 1985; Lekcharoensuk et al., 2000; Osborne et al., 1996; Thumchai et al., 1996; Ling et al., 1990).

- **Rezidivrate**

Das Risiko für das Auftreten von Rezidiven bei Struvitsteinen variiert in den verschiedenen Studien, wobei vor allem der Therapieform eine bedeutende Rolle zukommt. Die Rezidivrate für das feline urologische Syndrom, einschließlich einer Struvitsteinerkrankung, wird mit Werten von bis zu 50 % angegeben (Hesse et al., 1985; Sanders et al., 1985; Durham et al., 1983; Bovée et al., 1979; Bernard, 1978).

- **Saisonale Verteilung**

Beim feline urologischen Syndrom konnte ein gehäuftes Auftreten in Abhängigkeit von der Jahreszeit, in den Wintermonaten, festgestellt werden. In entsprechender Studie ist die Harnsteinerkrankung durch Struvit mit eingeschlossen (Bernard, 1978).

2.3 Ätiopathogenese der Struvituroolithiasis

Die Entstehung von Urolithen ist ein multifaktorieller Prozess. Er ist durch eine Vielzahl von biochemischen, physikalischen und biologischen Faktoren geprägt, wobei immer noch nicht alle Aspekte ausreichend bekannt sind.

Abbildung 1 stellt zusammenfassend die bedeutendsten Einflussfaktoren auf die Bildung von Harnsteinen bei Katzen dar.

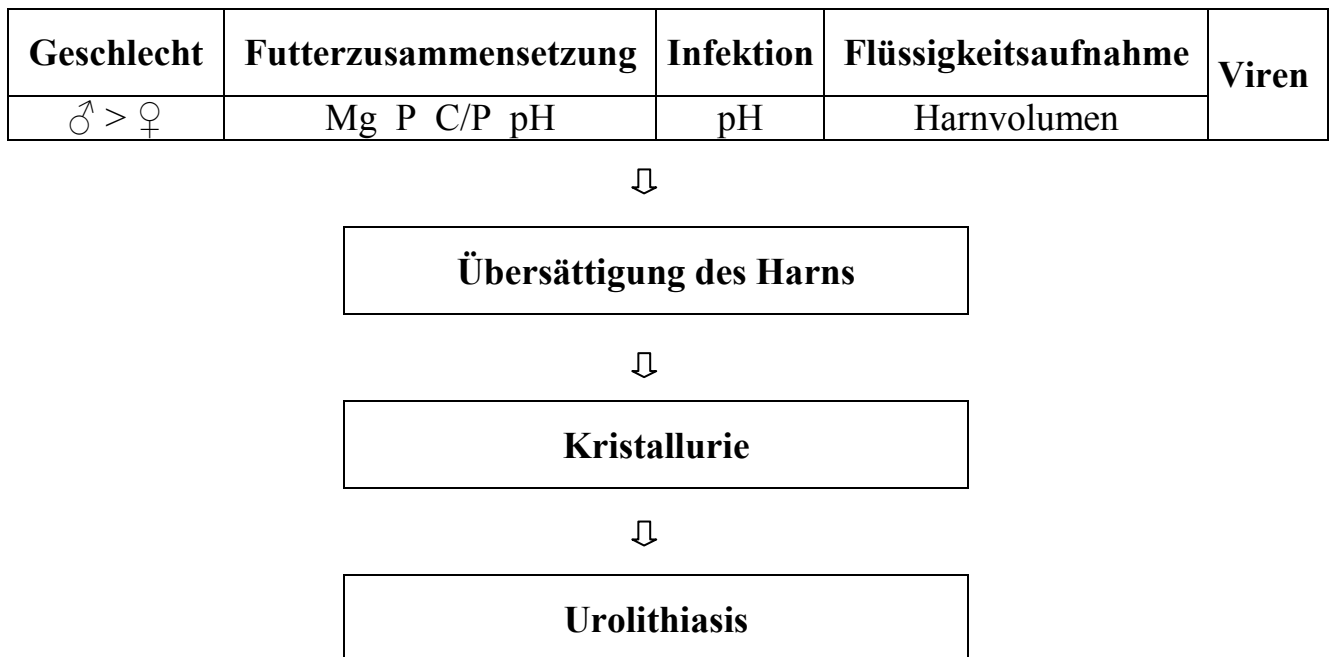


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Entstehung von Struvitsteinen bei Katzen (nach Hesse et al., 1985)

2.3.1 Formalgenese

Die Formalgenese beschäftigt sich mit der Frage, wie es zur Entstehung eines Harnsteins kommt. Dazu existieren zwei grundlegende Theorien.

Die Kristallisationstheorie besagt, dass eine Übersättigung des Harns zur Bildung von kristallinen Konkrementen führt (Kraft et al., 2000; Hesse et al., 1998; Dosch, 1987).

Demnach kann eine hohe Konzentration von gelösten Ionen oder Molekülen im Urin einen chemischen Niederschlag bedingen, sobald eine Übersättigung des Harns durch diese Substanzen vorliegt. Physiologischer Weise befinden sich gelöste und ungelöste Stoffe in einem Gleichgewicht (Dosch, 1987; Finlayson,

1978). Daraus ergibt sich für die entsprechende Lösung ein Löslichkeitsprodukt. Die Höhe des Löslichkeitsprodukts wird bestimmt durch das Aktivitätsprodukt. Das Aktivitätsprodukt beschreibt die Aktivität relevanter Mineralstoffe in der Lösung (Finlayson, 1978). Im Fall von Struvitsteinen handelt es sich dabei um Magnesium, Ammonium und Tripelphosphat. Das Aktivitätsprodukt steht in Abhängigkeit zu den Konzentrationen dieser Stoffe (Buffington et al., 1990). Liegen Konzentrationen unter dem Wert des Löslichkeitsprodukts vor, befindet sich die Lösung im ungesättigten Bereich. Somit kann es unter keinen Umständen zur Ausfällung der steinbildenden Substanzen kommen, da sie sich vollständig in Lösung befinden. Es besteht keine Gefahr für eine Auskristallisation und selbst bestehende Kristalle können wieder aufgelöst werden (Dosch, 1987; Finlayson, 1978). Im anderen Fall, bei Überschreiten des Löslichkeitsprodukts, ist der Harn an entsprechender Substanz übersättigt (Buffington et al., 1990; Dosch, 1987; Finlayson, 1978). Die Folge ist die Ausfällung des in der Lösung beziehungsweise dem Harn befindlichen Stoffs.

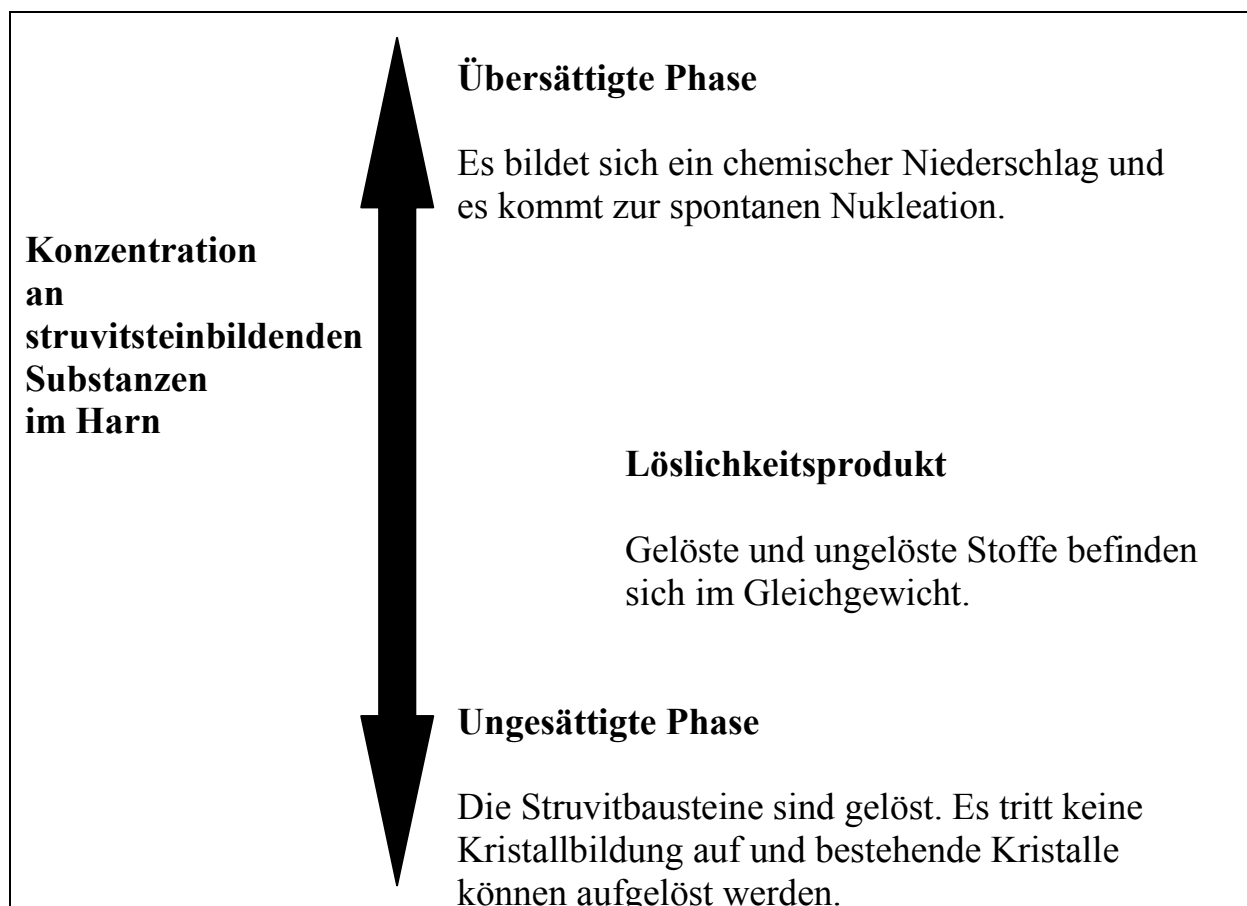


Abbildung 2: Lösungsverhältnisse im Harn in Abhängigkeit von der Konzentration struvitsteinbildender Stoffe

Mit der Bildung des Niederschlags beginnt das Wachstum der Kristalle, die Nukleation. Soweit die Kristalle nicht in Form einer Kristallurie ausgeschieden werden, kann das Wachstum durch Aneinanderlagerung oder durch weitere Kristallisation fortschreiten (Kraft et al., 2000; Dosch, 1987; Finlayson, 1978). Eine Ausscheidung ist dann nicht mehr möglich (Kraft et al., 2000). Der Grad der Übersättigung im Urin beeinflusst also die Wahrscheinlichkeit für die Bildung eines Niederschlags und damit die Bildung von Urolithen. Organisches Material spielt dieser Theorie zufolge eine nur untergeordnete Rolle. Demnach wird es eher zufällig in die Kristalle eingebaut und hat auf deren Entstehung keinen Einfluss (Dosch, 1987).

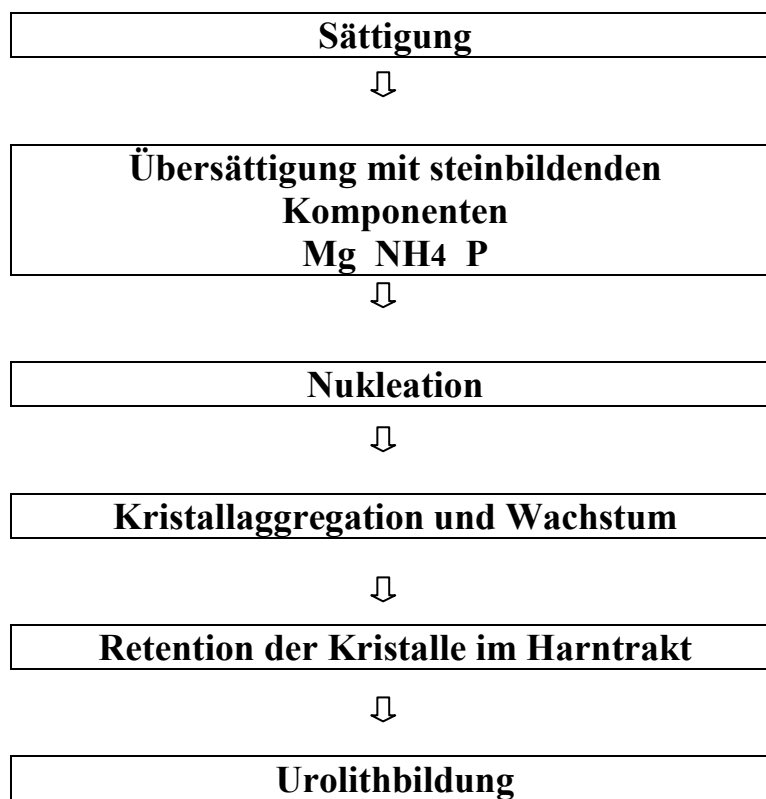


Abbildung 3: Die Entstehung von Urolithen aufgrund einer Übersättigung des Harns an steinbildenden Komponenten (nach Bartges et al.; 1999)

Nach der zweiten Entstehungstheorie, der Matrixtheorie, ist zur Bildung eines Harnsteins das Vorhandensein eines Kristallisationskerns aus organischem Material notwendig (Hesse et al., 1998). Hierbei bilden Bakterien, Zellen des Harntrakts, Zelldetritus, Erythrozyten, neutrophile Granulozyten oder andere Blutzellen einen Kern, Nidus, an den sich Salzkristalle anlagern können (Kraft et al., 2000). Des weiteren dient organische Matrix, bestehend aus

Mukoproteinen, als eine Art Kittsubstanz der mechanischen Stabilisierung der Kristallkonkremente. Dazu wird sie in Form folienartiger Einschlüsse ins Innere der Kristalle eingebaut und überzieht deren Oberfläche (Dosch, 1987).

Abgesehen von diesen zwei grundlegenden Theorien über die Entstehung von Harnsteinen existiert eine weitere These, die Kristallisations-Inhibitor-Theorie. Diese macht die Abwesenheit oder den verringerten Gehalt von Faktoren im Harn, die eine Kristallisation hemmen können, für die Entstehung einer Urolithiasis verantwortlich. Zusätzlich zu den inhibitorisch wirksamen Faktoren gibt es auch Substanzen, die die Bildung von Harnsteinen begünstigend beeinflussen, wie beispielsweise organische Matrix. Die Angriffspunkte der Inhibitoren sowie Promotoren können die Nukleation, die Aggregation oder das Wachstum der Kristalle darstellen. So besitzen zum Beispiel Magnesium und Zitrat die Fähigkeit, durch die Komplexbildung mit Kalzium beziehungsweise Oxalat das Risiko einer Kalziumoxalatausfällung im Harn zu reduzieren. Glykosaminoglykane hemmen ebenso wie Nephrokalzin das Wachstum von Kristallen und behindern zusätzlich deren Agglomeration (Allen et al., 2002; Hesse et al., 1998; Nakagawa et al., 1985; Fleisch et al., 1978). Eine Sonderrolle spielt das Tamm-Horsfall-Protein, das der Kristallaggregation entgegenwirkt, aber unter besonderen Gegebenheiten auch als Promotor fungieren kann. Bei dem Tamm-Horsfall-Protein handelt es sich um ein Glykoprotein, das von den Nierentubuli sezerniert wird. In Bezug auf die Entwicklung von Struvitsteinen wird das Tamm-Horsfall-Protein als signifikanter Förderer einer Übersättigung des Harns an struvitbildenden Komponenten mit folgender Kristallbildung beschrieben (Allen et al., 2002; Buffington et al., 1994).

2.3.2 Kausalgenese

Die Kausalgenese geht der Frage nach, warum es zum Wachstum von Urolithen, bestehend aus Magnesium-Ammonium-Phosphat, kommt.

Die Entwicklung einer Urolithiasis ist ein multifaktoriell bedingter Prozess. Bei der Frage nach den Ursachen für die Entstehung von Struvitsteinen bei Katzen kommt der Zusammensetzung des verabreichten Futters große Bedeutung zu. Der Zusammenhang von Fütterung und Harnsteinbildung ist durch die Regulationsmechanismen der Niere als Ausscheidungsorgan gegeben. So spielt die Niere zusammen mit den körpereigenen Puffersystemen sowie respiratorischen Regulationsmechanismen eine entscheidende Rolle bei der Aufrechterhaltung eines physiologischen Säure-Basen-Gleichgewichts im Organismus. Durch bestimmte Futterinhaltsstoffe kann dieses Gleichgewicht verschoben werden, worauf die Niere mit der Ausscheidung entsprechender Substanzen reagiert, wodurch wiederum der pH-Wert des Harns nach oben oder

unten verschoben werden kann. Die Verschiebung des Harn-pH-Werts spielt durch die Bereitstellung harnsteinbildender Substanzen bei entsprechenden Werten als Risikofaktor vieler Arten von Urolithen eine ausschlaggebende Rolle (Osborne et al., 1996).

Außerdem ist die Niere bei der Steuerung des Elektrolythaushalts des Körpers über eine Anpassung der Ausscheidung entsprechender Stoffe beteiligt. Auf diese Weise kann die Zusammensetzung des Futters zu einer erhöhten oder verminderten Konzentration von für die Entstehung von Struvitsteinen relevanten Ionen führen und kann so eine Übersättigung des Harns mit nachfolgender Kristallbildung herbeiführen (Osborne et al., 1996; Hesse et al. 1985).

Abgesehen von den Inhaltsstoffen ist der Feuchtigkeitsgehalt des Futters für das Risiko einer Harnsteinerkrankung von Bedeutung. Die Gesamtflüssigkeitsaufnahme durch die Katzen bestimmt die Konzentration des Harns und erhöht oder senkt das Löslichkeitsprodukt für die steinbildenden Substanzen. Dadurch wird der Sättigungsgrad des Harns festgelegt. Eine geringe Wasseraufnahme bedingt ein geringes Harnvolumen, wodurch eine Übersättigung des Harns an kristallbildenden Komponenten schneller erreicht ist. Die Gesamtflüssigkeitsaufnahme wird, abgesehen von der getrunkenen Menge Wasser, von dem Feuchtigkeitsgehalt des Futters bestimmt (Tartellin, 1987; Hesse et al., 1985; Seefeldt et al., 1979).

Des Weiteren kann das Futter über die Methode der Verabreichung als Ursache für die Entstehung von Urolithen fungieren. Dieser Effekt beruht auf einem Zusammenhang zwischen der Fütterungstechnik und dem pH-Wert des Harns. Grundsätzlich kommt es nach der Aufnahme von Futter durch Homöostasemechanismen im Organismus zu einer Alkalisierung des Harns. Die postprandiale Welle ist umso stärker ausgeprägt, je größer die Menge des verabreichten Futters ist. Daraus folgt, dass viele kleine Portionen, über den Tag verteilt aufgenommen, zwar eine länger andauernde Alkalisierung des Harns bewirken, diese aber im Gegensatz zu einer einmaligen Fütterung am Tag nicht so stark ausgeprägt ist. Damit ist eine ad libitum-Fütterung weniger kalkulogen (Finke et al., 1992; Leugner, 1988).

Außerdem kann ein stark herabgesetzter Energiegehalt des Futters bei der Harnsteingenesese eine Rolle spielen. Eine deutlich verringerte Energiedichte kann die vermehrte Aufnahme von Futter durch die Katzen zur Folge haben. Auf diese Weise steigt die Aufnahme von kalkulogenen Substanzen und damit das Risiko für die Entwicklung von Struvitsteinen (Lekcharoensuk et al., 2001).

Abgesehen von der Futterzusammensetzung kann ein anderer Faktor die Auskristallisation von Struvitsteinen begünstigen, eine Infektion des Harntrakts mit Urease-produzierenden Bakterien. Bei Katzen ist eine solche Infektion in der Mehrzahl der Fälle nicht ursächlich beteiligt, sondern als Folge der Harnsteinerkrankung zu sehen. Die bei Vorliegen einer Urolithiasis am

häufigsten anzutreffenden Keime sind Staphylokokken und *Proteus* spp.. Auch werden in der Literatur *Escherichia coli*, Streptokokken sowie Corynebakterien und einige weitere durch die Besiedlung des Harntrakts als sekundär beteiligt beschrieben (Osborne et al., 1996; Ling et al., 1990; Dorn et al., 1973). Durch das Enzym Urease wird Harnstoff unter der Bildung von Kohlendioxid und Ammoniak gespalten. Die so entstandene erhöhte Konzentration an Ammoniak mit der Fähigkeit, Protonen zu binden, bedingt einen Anstieg des pH-Werts im Harn der Katzen. Die Alkalisierung des Harns hat die Deprotonierung von monobasischem und dibasischem Phosphat zur Folge und dadurch eine Erhöhung der Konzentration an trivalentem Phosphat. Da Phosphat in dieser Form Baustein der Magnesium-Ammonium-Phosphatsteine ist, steigt auf diese Weise das Risiko einer Übersättigung des Harns mit folgender Auskristallisation. Hinzu kommt der erhöhte Gehalt an Ammoniumionen als Risikofaktor einer Struvitsteinbildung (Hesse et al., 2002; Osborne et al., 1996; Hesse et al., 1985).

Eine Störung der Urodynamik im Sinne einer unphysiologischen Störung des Harnflusses im Harntrakt kann durch die verminderte Ausscheidung und nachfolgende Anhäufung von kalkulogenem Material ebenfalls als Ursache einer Übersättigung des Harns mit folgender Kristallbildung fungieren (Hesse et al., 1998). Abgesehen von einer reduzierten Flüssigkeitsaufnahme können Erkrankungen des Harntrakts sowie anatomische Besonderheiten den Harnfluss behindern und zu einem Harnstau führen (Henning, 1987). So stellt beispielsweise eine Verengung der Harnröhre beim männlichen Tier, durch frühe Kastration noch verstärkt, einen zur Harnsteinbildung prädisponierenden Faktor dar (Sanders et al., 1985).

Auch eine reduzierte Flüssigkeitsaufnahme kann durch die daraus folgende herabgesetzte Diurese zu einer Störung des physiologischen Harnflusses führen. Die verminderte Aufnahme von Flüssigkeit durch die Katzen kommt entweder direkt zustande, wenn den Tieren nicht ausreichend Trinkwasser zur Verfügung steht oder sie anderweitig am Trinken gehindert sind. Eine andere Ursache ist ein zu geringer Feuchtigkeitsgehalt des Futters, der nicht durch vermehrtes Trinken kompensiert wird. Daher kann die Aufnahme von Trockenfutter als prädisponierender Faktor einer Urolithiasis angesehen werden. Diese Tatsache macht deutlich, dass die Entstehung von Harnsteinen ein multifaktorielles Geschehen ist, da viele Katzen ausschließlich mit Trockenfutter gefüttert werden, aber nicht jede dieser Katzen auch Harnkonkremente entwickelt (Barsanti et al., 1982). Durch die aufgrund der geringen Feuchtigkeitsaufnahme resultierende Verkleinerung des Harnvolumens steigt die Konzentration der im Harn enthaltenen Substanzen und damit das spezifische Gewicht des Harns. Das Ergebnis ist ein herabgesetztes Löslichkeitsprodukt, wodurch das Risiko für das Entstehen eines Niederschlags steigt. Die Gesamtaufnahme von Wasser ist somit

bei der Vermeidung jeglicher Form von Urolithiasis von großer Bedeutung (Buffington et al., 1998; Seefeldt et al., 1979).

Inwieweit Virusinfektionen bei der Entstehung von Harnsteinen bei Katzen eine ursächliche Rolle spielen, ist bislang nicht eindeutig geklärt und bedarf weiterer Erforschung mittels neuester Untersuchungsmethoden (Kruger et al., 1991). Bisher konnte bei Katzen mit den Symptomen Hämaturie und Dysurie allein oder kombiniert mit einer Obstruktion der Harnröhre das bovine Herpesvirus, das feline Calicivirus und ein synzytienbildendes Virus isoliert werden. Dadurch wurde ein Zusammenhang zwischen einer Viruserkrankung und einer Erkrankung der unteren Harnwege angenommen. Diese Untersuchungsergebnisse konnten aber durch andere Studien, die Virusanalysen mittels Routinetechniken durchführten, nicht belegt werden. Als Gründe hierfür wurden mehrere Ursachen diskutiert. Es besteht die Möglichkeit, dass das Virus eine Latenzphase durchmacht oder eine spezifische Zellgebundenheit aufweist sowie eine Verhinderung des In-vitro-Wachstums durch den Harn (Kruger et al., 1990).

Zusätzlich können Rasse, Alter, Geschlecht und Gewicht prädisponierende Faktoren für die Entwicklung bestimmter Steinarten darstellen (Lekcharoensuk et al., 2000).

2.4 Bedeutung der Fütterung für das Wachstum von Struvitkristallen

Die Entstehung von Magnesium-Ammonium-Phosphatsteinen steht in engem Zusammenhang zu den mit der Nahrung aufgenommenen Mineralstoffen und dem daraus resultierenden pH-Wert des Harns. Daher kann durch Modifikation der Futterinhaltsstoffe unter Erwartung eines bestimmten Harn-pH-Wertes die Bildung sowie die Auflösung von Struvitsteinen beeinflusst werden.

Des weiteren können die aufgenommenen Mineralstoffe auf die Höhe der Exkretion sowie der Absorption untereinander Einfluss haben (Lewis et al., 1978).

Um eine Aussage über die Wirkung von Futtermitteln auf den Harn-pH-Wert und damit auf das Struvitrisiko für Katzen treffen zu können, wurde eine Studie von Kienzle et al. (1993) zur Erstellung einer Kationen-Anionen-Bilanz durchgeführt.

2.4.1 pH-Wert

Der pH-Wert des Harns ist eng mit der Konzentration des Harns an struvitsteinbildenden Komponenten korreliert und dadurch mit der Wahrscheinlichkeit für die Bildung eines chemischen Niederschlags mit nachfolgender Kristallbildung (Finke et al., 1992). Voraussetzung hierfür ist eine Übersättigung des Harns mit trivalentem Phosphat, Ammonium und Magnesium, den Bausteinen von Struvit. Unter anderem bestimmt der pH-Wert die Konzentration dieser Substanzen im Harn, wobei der pH-Wert in hohem Maße von der Zusammensetzung der Nahrung bestimmt wird, da über renale Mechanismen der Säure-Basen-Haushalt des Organismus mitreguliert wird. So werden beispielsweise durch das Futter aufgenommene Säuren über die Nieren eliminiert.

Bei wildlebenden Hauskatzen, deren Nahrung in der Hauptsache aus Kleinstsäugern besteht, liegt der durchschnittliche Harn-pH-Wert in etwa bei 6,3 (Allen, 1996). Der physiologische Bereich für die Harn-pH-Werte von Katzen reicht nach Allen et al. (2002) von 5,5 bis 8,5, Kraft et al. (1999) beschreibt eine Spanne von 5,0 bis 7,0 als physiologisch.

Die Entwicklung einer Struvituroolithiasis bei Katzen steht in der Regel in Zusammenhang mit einer Steigerung des Harn-pH-Wertes (Lekcharoensuk et al., 2001; Tarttelin, 1988). Ein Abfall des Harn-pH-Wertes in den sauren Bereich hat eine verringerte Konzentration an trivalenten Phosphaten zur Folge, wobei gleichzeitig der Gehalt an Ammoniumionen ansteigt. Die Reduktion der anionischen Phosphate ist dabei effektiver als der Ammoniumionenanstieg (Pastoor et al., 1994). Daraus folgt, dass durch eine Ansäuerung des Katzenharns das Risiko eines Struvitniederschlags über eine Senkung des Aktivitätsprodukts der für die Kristallisation von Struvit relevanten Salze minimiert wird.

Das Risiko einer Oxalatkristallbildung dagegen wird durch sauren Harn erhöht (Allen et al., 2002).

Beispiele für harnansäuernde Futterzusätze sind Ammoniumchlorid oder Methionin. Dagegen stellen Kalziumkarbonat und Magnesiumoxid alkalischierende Komponenten des Futters dar (Allen, 1996; Kienzle et al., 1993; Skoch et al., 1991).

2.4.2 Mineralstoffe

- **Phosphor**

Die Gesamtkonzentration an Phosphor im Harn wird durch die Zusammensetzung des Futters über zwei Wege beeinflusst. So hat eine erhöhte

Phosphoraufnahme auch eine erhöhte Phosphorausscheidung über den Harn zur Folge (Lekcharoensuk et al., 2001). Von größerer Bedeutung ist die Beziehung zwischen den Futterinhaltsstoffen und dem Risiko eines Phosphatniederschlags, die über die Wirkung des Futters auf den pH-Wert des Harns läuft, da dieser die Konzentration an anionischen Phosphaten bestimmt und Phosphor in dieser Form als Baustein der Struvitsteine fungiert.

Phosphor wird über die Nahrung in Form von Phosphorsäure, monobasischem oder dibasischem Phosphat sowie anionischem bzw. trivalentem Phosphat aufgenommen. Phosphorsäure dient dabei einer Steigerung der Akzeptanz des Futters durch die Katzen.

Ein Anstieg des pH-Wertes im Harn hat eine Deprotonierung der mono- und dibasischen Phosphate und damit eine Erhöhung der Konzentration an anionischen Phosphaten zur Folge, die so zur Bildung eines Struvitniederschlags zur Verfügung stehen. Andererseits führt eine Senkung des Harn-pH-Wertes zu einer Umwandlung der anionischen Phosphate in mono- und dibasische Phosphate (Hierholzer et al., 1987).

Weiter ist die Beeinflussung des Säure-Basen-Haushalts durch Phosphor in Abhängigkeit von seiner chemischen Form erheblich. Phosphorsäure wirkt ebenso wie monobasische Phosphate auf den Harn-pH stark ansäuernd (Skoch et al., 1991). Dagegen ist die Wirkung von dibasischen Phosphaten nur gering. Anionische Phosphate haben einen alkalisierenden Effekt.

Ein weiterer Effekt des mit der Nahrung aufgenommenen Phosphors besteht in der Wechselbeziehung zu Kalzium und Magnesium. Phosphor bildet mit diesen Mineralstoffen unlösliche Komplexe und verhindert so deren intestinale Absorption. Das Resultat einer exzessiven Phosphoraufnahme ist eine Reduktion des Kalzium- und Magnesiumgehalts im Harn. Im Gegensatz dazu führt eine übermäßige Kalziumaufnahme zu einem Konzentrationsabfall des Phosphats im Harn. Von Bedeutung ist diese Wechselbeziehung auch für das Risiko einer Kalziumoxalaturolithiasis (Buffington et al., 1990; Rogers et al., 1987).

- **Ammonium**

Eine Erhöhung der Ammoniumionenkonzentration im Harn der Katzen und damit ein gesteigertes Risiko für die Entstehung von Struvitsteinen basiert ebenfalls auf der Wirkung des Futters auf den Harn-pH-Wert. Futtermittel, die einen azidierenden Effekt auf den Harn haben, führen zu einer höheren Konzentration an Ammoniumionen im Harn. Dies beruht auf der Verbindung von nicht ionisiertem Ammoniak mit freien Wasserstoffionen (Hierholzer et al., 1987). Dieser Effekt ist aber, was die Gefahr einer Struvituroolithiasis betrifft,

nicht so ausschlaggebend wie der zugleich bei einem niedrigen Harn-pH auftretende Abfall der Konzentration an anionischen Phosphaten mit der gleichzeitigen Reduktion des Struvitrisikos (Pastoor et al., 1994).

Wenn sich Ammonium in neutraler Lösung befindet, wird ein Proton freigesetzt. Darauf begründet sich der ansäuernde Effekt des Ammoniums auf den pH-Wert des Harns (Buffington et al., 1990; Rogers et al., 1987).

- **Magnesium**

Die Konzentration an Magnesium im Harn steht in direkter Beziehung zu der mit der Nahrung aufgenommenen Menge, wobei die intestinale Absorption relativ gering ist. So kann durch die Einhaltung der vorgegebenen Richtwerte für den Magnesiumgehalt in Katzenfuttermitteln die Gefahr einer Ausfällung von Magnesium im Harn der Tiere vermieden werden. Hohe Magnesiumwerte enthalten zum Beispiel Knochen-, Fisch- und Geflügelmehl sowie Fleisch mit einem hohen Anteil an Asche. Da Magnesium mit Oxalat einen Komplex im Harn bildet, der leichter löslich als Kalziumoxalat ist und so die Konzentration an Oxalat reduziert, gilt dieser Mineralstoff als Inhibitor von Kalziumoxalatkristallen. Aus diesem Grund finden sich in manchen kommerziellen Katzenfuttermitteln Magnesiumgehalte, die über den angegebenen Richtwerten liegen und so eine Auskristallisation von Struvitsteinen begünstigen (Lekcharoensuk et al., 2001; Buffington et al., 1998). Die Reduktion des Magnesiumgehalts im Futter als Präventionsmaßnahme einer Struvitrolithiasis ist jedoch im Verhältnis zu einer Reduktion des pH-Werts im Harn der Tiere weniger effektiv (Skoch et al., 1991).

- **Natrium**

Die Natriumaufnahme ist in erster Linie als Risikofaktor einer Entwicklung von Kalziumoxalatstein von Bedeutung. Eine erhöhte Natriumaufnahme und damit Natriumausscheidung über die Nieren bedingt eine ebenfalls erhöhte Kalziumausscheidung. Die Folge ist eine Begünstigung der Kalziumoxalatbildung. Im Gegensatz dazu wird von Lekcharoensuk et al. (2001) nach eigener Studie unerwarteter Weise ein erhöhtes Risiko für Kalziumoxalatsteine und ein verringertes Risiko für Struvitsteine nach Fütterung einer Diät mit reduziertem Natrium- und Kaliumgehalt festgestellt. Prinzipiell hat eine gesteigerte Natriumaufnahme eine Erhöhung des Harnvolumens zur Folge und wirkt daher der Bildung von Struvitsteinen über ein Anheben des Löslichkeitsprodukts entgegen (Lekcharoensuk et al., 2001).

- **Kalium**

Die Ausscheidung von Kalium steht in engem Bezug zur Aufnahme über das Futter (Schuknecht, 1991). Die Bedeutung von Kalium für die Bildung von Struvitsteinen liegt in der Beeinflussung des Ammoniak- und damit Ammoniumionengehalts im Harn. Eine hohe Kaliumaufnahme mit dem Futter führt zu einer verminderten Ammoniaksynthese der Nieren, da Kalium diese hemmt. Andererseits bewirkt eine verminderte Kaliumaufnahme eine Stimulation der Ammoniaksynthese. In Abhängigkeit von dem pH-Wert kann dadurch die Konzentration an Ammoniumionen im Harn erhöht werden.

Ansäuernde Futtermittel führen zu einer vorübergehend negativen Kaliumbilanz. Diese sollten daher Kaliumgehalte, die über dem Mindestbedarf liegen, enthalten (Allen et al., 2002; Dow et al., 1990; Ching et al., 1989).

- **Kalzium**

Die Kalziumausscheidung mit dem Harn steht in direktem Zusammenhang zu der mit der Nahrung aufgenommenen Menge. Eine wichtige Rolle spielt dieser Mineralstoff bei der Entstehung von Kalziumoxalaturolithen, da eine Hyperkalzurie diese begünstigt.

Für die Bildung von Struvitsteinen ist die Aufnahme von Kalzium im Hinblick auf das Zusammenspiel mit Phosphor von Bedeutung. So hat eine hohe Phosphoraufnahme eine reduzierte Kalziumausscheidung über die Nieren zur Folge. Andererseits wird durch eine erhöhte Aufnahme von Kalzium mit der Nahrung die Phosphatausscheidung über den Harn vermindert. Eine erhöhte Aufnahme von Kalzium und eine daraus resultierende Hyperkalzurie kann über einen negativen Rückkopplungsmechanismus die Sekretion von Parathormon der Nebenschilddrüse hemmen. Daraus folgt eine Reduktion der Reabsorption von Magnesium und gleichzeitig eine Erhöhung der Reabsorption von Phosphor in den Nierentubuli. Eine gesteigerte Kalziumaufnahme kann somit über eine erhöhte Magnesiumkonzentration im Harn ein Risiko für die Auskristallisation von Struvit darstellen. Außerdem kann davon ausgegangen werden, dass Futtermittel mit einem hohen Kalziumgehalt ebenso eine hohe Phosphorkonzentration beinhalten, um einem adäquaten Kalzium-Phosphor-Verhältnis gerecht zu werden. Die dadurch erhöhte Phosphorexkretion stellt wiederum einen Risikofaktor der Struvitentstehung dar (Lekcharoensuk et al., 2001). Nach einer Studie von Pastoor et al. (1994) hingegen führte eine erhöhte Kalziumaufnahme zu einer reduzierten Magnesium- sowie Phosphorausscheidung mit dem Harn.

Ansäuernde Futter bewirken einigen Untersuchungen zufolge eine erhöhte Kalziumausscheidung mit dem Harn, woraus eine negative Kalziumbilanz

resultieren kann (Ching et al., 1989). Andere Studien könnten bei schwacher Azidierung des Harns diesen Effekt nicht bestätigen (Pastoor et al., 1994).

Des Weiteren wird Kalzium kommerziellen Futtermitteln meist in Form von Kalziumkarbonat zugesetzt, was zu einem Anstieg des pH-Werts im Harn der Tiere führt und dadurch zu einem erhöhten Struvitrisiko beiträgt (Pastoor et al., 1994; Pastoor et al., 1994; Kienzle et al., 1993).

- **Schwefel**

Über tierische Proteine werden die schwefelhaltigen Aminosäuren Methionin und Cystein von Katzen in größerer Menge aufgenommen. Der Schwefel wird zu Sulfat oxidiert und in dieser Form mit dem Harn ausgeschieden. Auf diese Weise kommt es zum Absinken des Harn-pH-Wertes, was zur Vermeidung eines Struvitniederschlags beiträgt (Allen et al., 2002).

- **Chlorid**

Die Ausscheidung von Chlorid über den Harn wird bei Katzen in hohem Maße von dem Chloridgehalt des Futters bestimmt (Wilms-Eilers, 1992; Schuknecht, 1991; Ching et al., 1989).

2.4.3 Kationen-Anionen-Bilanz

Die Ernährung der Tiere hat durch die Metabolisierung der im Futter enthaltenen Nährstoffe und deren alkalogenen beziehungsweise azidierenden Eigenschaften Einfluss auf den Säure-Basen-Haushalt im Organismus (Kienzle et al., 1994; Patience et al., 1990). Die Niere spielt bei der Regulation des Säure-Basen-Gleichgewichts im Körper eine ausschlaggebende Rolle. So führt die Niere bei Vorliegen einer azidotischen Stoffwechsellage über eine gesteigerte Sezernierung von Protonen und titrierbaren Säuren sowie einer indirekten Protonenausscheidung in Form von Ammoniumionen und gleichzeitig einer vermehrten Rückresorption von Bikarbonat zu einer Reduktion des Harn-pH-Werts. Bei Bestehen einer Alkalose hingegen wird durch eine verminderte Säureausscheidung sowie einer verminderten Rückresorption von Bikarbonat der pH-Wert im Harn erhöht. Dadurch ist der Harn-pH-Wert von Schwankungen im Säure-Basen-Gleichgewicht des Organismus betroffen (Allen, 1996; Silbernagl et al., 1991; Hierholzer et al., 1987). Durch diese Tatsache kann über eine Modifikation des Futters und die Zugabe bestimmter Zusätze auf den Harn-pH-Wert Einfluss genommen und gezielt eine Ansäuerung oder Alkalisierung des Harns herbeigeführt werden. Zu der exakten Wirkung bestimmter

Futterinhaltsstoffe beziehungsweise bestimmter Futterzusätze wurden bereits viele Studien bei unterschiedlichen Tierarten durchgeführt und in der Literatur beschrieben. Der Zusammenhang zwischen dem aufgenommenem Futter und dem pH-Wert des Harns ist für die Prävention und Behandlung von Harnsteinen, speziell den Struvitsteinen, von großer Bedeutung (Beker, 1999).

Um den Einfluss der Nahrung auf den pH-Wert des Harns möglichst exakt vorherzusagen zu können, wird die Kationen-Anionen-Bilanz aufgestellt. Hierbei wird die Summe der im Futter enthaltenen und auf den Harn-pH azidogen wirkenden Komponenten Phosphat, Chlorid und Schwefel von der Summe der alkalogen wirkenden Komponenten Kalzium, Magnesium, Natrium und Kalium abgezogen und in mmol/kg Trockensubstanz ausgedrückt (Krohn, 1993; Schuknecht, 1991):

Kationen-Anionen-Bilanz (KAB; mmol/kg TS):

$$49,9 \cdot \text{Ca} + 82,3 \cdot \text{Mg} + 43,5 \cdot \text{Na} + 25,6 \cdot \text{K} - 64,6 \cdot \text{P} - 86,8 \cdot \text{S} - 28,2 \cdot \text{Cl}$$

Wenn das Futter, abgesehen von den schwefelhaltigen Aminosäuren Methionin und Cystein, keine bedeutenden Mengen anderer schwefelhaltiger Verbindungen enthält, kann der Schwefelgehalt in der Formel durch die Konzentrationen des Futters an Methionin und Cystein ersetzt werden (Krohn, 1993; Schuknecht, 1991). Zusätzlich zu den in die Berechnung der Kationen-Anionen-Bilanz eingehenden Mengenelementen beeinflussen auch die im Futter enthaltenen Spurenelemente den Säure-Basen-Haushalt. Da diese aber in den Futtermitteln in so geringen Mengen vorhanden sind, können sie bei der Berechnung vernachlässigt werden.

Da eine signifikante Korrelation zwischen der Kationen-Anionen-Bilanz und dem durchschnittlichen pH-Wert des Harns besteht, kann mit Hilfe der Kationen-Anionen-Bilanz der zu erwartende Harn-pH für ein bestimmtes Futter berechnet werden (Opitz et al., 1998; Schuknecht, 1991). Die Formel für Katzen lautet (Schuknecht, 1991):

$$\text{Harn-pH-Wert} = (\text{KAB} \cdot 0,0021) + 6,72$$

Eine Reduktion der Kationen-Anionen-Bilanz hat ein proportionales Absinken des Harn-pHs zur Folge. Sobald die KAB Werte von -400 bis -500 mmol/kg TS erreicht, folgt kein weiteres Abfallen des pH-Wertes (Allen, 1996; Kienzle et al., 1994; Kienzle et al., 1993).

Nicht berücksichtigt werden bei der Berechnung der Kationen-Anionen-Bilanz die unterschiedliche intestinale Absorption von alkalogenen und azidogenen Komponenten sowie die unterschiedlichen Valenzen des Phosphors (Allen,

1996). Dies scheint aber bei handelsüblichen Futterzusammensetzungen quantitativ gesehen bei der Berechnung der Wirkung eines Futters auf den Harn-pH-Wert von Katzen keine bedeutsame Rolle zu spielen (Kienzle et al., 1993).

2.4.4 Protein, Fett und Faserstoffe

Die Aufnahme von tierischem Protein führt zu einem Abfall des Harn-pH-Wertes. Das ist eine Folge der Metabolisierung von Sulfaten aus den schwefelhaltigen Aminosäuren Methionin und Cystein, die in tierischem Protein in großen Mengen vertreten sind (Skoch et al., 1991). Trotz der ansäuernden Wirkung des Proteins auf den Harn ist die Bedeutung der Proteinaufnahme in Bezug auf die Auskristallisation von Struvit beziehungsweise deren Verhinderung bisher nicht eindeutig geklärt (Lekcharoensuk et al., 2001). Es liegt eine Studie vor, nach der eine Diät mit erhöhtem Proteingehalt zur Ansäuerung des Harns von Katzen eingesetzt werden kann und so therapeutisch und prophylaktisch bei der Bekämpfung von Struvit Verwendung finden kann (Funaba et al., 2003).

Gleichzeitig wird durch eine hohe Konzentration an Proteinen im Futter die Ausscheidung von Kalzium, Harnsäure und eventuell Oxalat über den Urin erhöht. Daher spielt die Proteinaufnahme eine wichtige Rolle bezogen auf das Risiko der Bildung von Kalziumoxalaten.

Eine fettreiche Ernährung birgt die Gefahr zur Entwicklung einer Adipositas der Katzen. Übergewichtigkeit gehört zu den Risikofaktoren in Bezug auf das Wachstum von Struvitkristallen. Auf der anderen Seite wird durch eine hohe Energiedichte im Futter die Gesamtfuttermenge bei kontrollierter Fütterung und damit die Mineralstoffaufnahme der Tiere minimiert. Außerdem hält Fett gegenüber Kohlenhydraten und Proteinen die meiste metabolische Gesamtwassermenge bereit. Diese Aspekte fettreicher Nahrung sprechen für einen positiven Effekt bei der Vermeidung von Struvitsteinen (Lekcharoensuk et al., 2001).

Der Gehalt an Rohfaser im Futter ist in erster Linie zur Verhinderung von Kalziumoxalatkristallen von Bedeutung, da manche Faserstoffe die intestinale Absorption von Kalzium hemmen, indem sie es binden (Allen et al., 2002).

Die Auswirkung des Rohfasergehalts im Futter auf die Entwicklung von Struvitsteinen ist bisher nicht geklärt. In einer Fütterungsstudie konnte ein Zusammenhang zwischen einer erhöhten Faserkonzentration im Futter und einem erhöhten Risiko für Struvit festgestellt werden, die Gründe hierfür sind aber unbekannt (Lekcharoensuk et al., 2001).

2.4.5 Wassergehalt

Die Zusammensetzung und die aufgenommene Menge eines Futters sind maßgebend für die Wassermenge, die eine Katze am Tag zu sich nimmt. Dieser Faktor spielt eine ausschlaggebende Rolle bei der Prophylaxe und Therapie von Harnsteinen, da durch ein größeres Harnvolumen die Schwelle für die Ausfällung harnsteinbildender Komponenten angehoben wird (Burger, 1986). Die Wassermenge, die von einem Tier getrunken wird, steigt mit dem Gehalt an Trockensubstanz eines Futters. Aus diesem Grund wird von den Tieren nach Fütterung eines Trockenfutters mehr Wasser getrunken als nach der Aufnahme eines feuchten Dosenfutters. Trotzdem ist bei Katzen, die mit Trockenfutter gefüttert werden, die aufgenommene Gesamtwassermenge geringer als bei denen, die Feuchtfutter zu sich nehmen (Seefeldt et al., 1979; Barker et al., 1973). Der Feuchtigkeitsgehalt von Trockenfutter erreicht in der Regel keine 10 %, wobei in Feuchtfuttermitteln bis über 72 % Wasser enthalten ist. Damit reduziert die Verfütterung von Feuchtfutter das Risiko eines Kristallwachstums (Tarttelin, 1988).

Abgesehen von dem Feuchtigkeitsgehalt wird die Wasseraufnahme durch die Inhaltsstoffe eines Futters bestimmt. Ein hoher Gehalt an Proteinen im Futter beispielsweise erhöht durch eine Steigerung der Konzentration an Harnstoff im Urin die Wasseraufnahme.

Der Anteil endogen produzierten Wassers beträgt im Verhältnis zur aufgenommenen Wassermenge nur etwa 10-15%, wobei Fette den höchsten Gehalt an metabolischer Wassermenge pro Gramm bereitstellen (Allen et al., 2002).

2.4.6 Fütterungsmethode

Auch die Methodik der Fütterung besitzt Einfluss auf die Entstehung von Struvitsteinen. Die Aufnahme sowie die Verdauung von Nahrung stimuliert die Sekretion von Protonen ins Magenlumen und führt so zu einem Nettosäureverlust des Organismus. Gleichzeitig kommt es kompensatorisch zur Diffusion von Bikarbonat aus den parietalen Zellen des Magens ins Blut. Die Folge ist ein vorübergehender Anstieg der Bikarbonatausscheidung mit dem Harn und damit ein vorübergehender Anstieg des Harn-pH-Wertes, der postprandiale pH-Peak. Diese vorübergehende Erhöhung des pH-Werts im Harn tritt ungefähr zwei bis sechs Stunden nach der Futteraufnahme auf. Beschränkt sich die Fütterung der Tiere auf wenige Mahlzeiten am Tag, ist die Welle der postprandialen Alkalisierung des Harns kürzer, aber ausgeprägter als bei ad libitum-Fütterung. Im Falle einer frei zugänglichen Fütterung werden von den Katzen mehrere Male über den Tag verteilt geringere Mengen an Nahrung aufgenommen. Dies entspricht ihrem natürlichen Fressverhalten. Die

postprandiale pH-Wert-Erhöhung ist damit weniger stark ausgeprägt, aber von längerer Dauer. Die geringere Alkalisierung der ad libitum-Fütterung reduziert das Risiko für eine Übersättigung des Harns mit struvitbildenden Komponenten (Allen, 1996; Finke et al., 1992; Leugner, 1988).

Die Gefahr der Entstehung einer Adipositas, wiederum ein Risikofaktor für die Harnsteinbildung, bei frei zur Verfügung stehendem Futter darf hierbei nicht außer Acht gelassen werden (Allen et al., 2002).

2.5 Therapie und Prophylaxe einer Struvituroolithiasis

Die Behandlung einer Urolithiasis zielt zunächst auf die Entfernung bereits vorhandener Steine ab. Das kann auf konservativem Weg erfolgen oder durch einen chirurgischen Eingriff. Gleichzeitig muss das Wachstum neuer Kristalle verhindert werden. Um auf lange Sicht dem Auftreten von Rezidiven, die nicht selten entstehen, entgegenzuwirken, sollte die Beschaffenheit des Harns langfristig derart modifiziert werden, dass dadurch das Risiko für die Entstehung von Struvitsteinen reduziert wird.

2.5.1 Konservative Therapie

Ziel der klassischen konservativen Therapie zur Behandlung von Harnsteinen ist zunächst eine Erhöhung des Harnvolumens (Hesse et al., 2002; Kraft et al., 2000). Dabei ist zu beachten, dass das Tier immer ausreichend Trinkwasser zur Verfügung hat, möglichst kein Trockenfutter gefüttert wird und das Futter einen hohen Wassergehalt enthält. Eine Möglichkeit zu Steigerung der Diurese ist die parenterale Verabreichung von hypotoner Elektrolytlösung sowie die Gabe von Furosemid. Eine ausreichende Verdünnung des Harns ist erreicht, wenn das spezifische Gewicht unter 1,025 liegt (Kraft et al., 2000).

Weiter muss die Löslichkeit der Salze erhöht werden. Das wird durch eine Veränderung des Säure-Basen-Gleichgewichts im Harn erzielt, wobei die Zusammensetzung des Steins die Methode bestimmt. Im Fall von Struvitsteinen wird das durch eine Ansäuerung des Harns erreicht. Kraft et al. (2000) beschreibt hierfür einen Harn-pH-Wert von $< 6,5$ als erstrebenswert. Die Senkung des pH-Werts wird durch Zusätze zum Futter wie beispielsweise Ammoniumchlorid oder Phosphorsäure erreicht (Kienzle et al., 1994; Wilms-Eilers, 1992; Schuhknecht, 1991).

Begleitend sollte die gezielte Verabreichung eines Antibiotikums nach Anfertigung eines AntibioGRAMMS durchgeführt werden, um einer möglichen

Infektion mit Urease-spaltenden Keimen und der damit verbundenen Alkalisierung des Harns sowie der Bildung von möglichen Kristallisationskernen entgegenzuwirken.

Durch regelmäßige Bestimmung des Harn-pH-Wertes und bakteriologische Nachuntersuchungen muss der Erfolg der Therapie kontrolliert werden (Hesse et al., 2002; Kraft et al., 2000).

Zusätzlich ist auf ausreichende Bewegung der Tiere zu achten. Im Fall von vorhandenem Übergewicht ist eine Regulation des Körpergewichts anzustreben (Hesse et al., 2002).

2.5.2 Prophylaktische und therapeutische Fütterung

Grundsätzlich ist bei der Futterzusammenstellung zur Vermeidung einer Übersättigung des Harns mit harnpflichtigen Substanzen und damit zur Vermeidung jeglicher Kristallbildung ein hohes Harnvolumen zu erzielen. Es sollten Futtermittel mit einem hohen Gehalt an Feuchtigkeit gefüttert werden. Bei der Verfütterung von Trockenfutter an die Tiere sollte bedacht werden, dass dadurch die aufgenommene Wassermenge geringer als bei Feuchtfutter ist (Seefeldt et al., 1979; Barker et al., 1973).

Auch der Methodik der Fütterung sollte bei der Behandlung oder Vermeidung einer Struvitsteinerkrankung Beachtung geschenkt werden. Die ad libitum-Fütterung hat eine geringere postprandiale Alkalisierung des Harns zur Folge und ist daher zu bevorzugen (Finke et al., 1992; Tarttelin, 1987; Taton et al., 1984).

Die entscheidende Rolle in der Therapie und Prophylaxe von Struvitsteinen spielt die Zusammensetzung des Futters. Die effizienteste Methode der Prävention sowie der Lösung einer Struvituroolithiasis besteht in der Ansäuerung des Harns der Katzen über eine Ansäuerung des Futters (Houston et al., 2004; Markwell et al., 1998; Osborne et al., 1990). In einer Vielzahl von Studien wurden Futterzusätze zu diesem Zweck getestet. Die Aufnahme von Mineralstoffen, die einen begünstigenden Effekt auf die Entstehung von Struvitsteinen haben wie beispielsweise Magnesium, spielt hierbei nur eine sekundäre Rolle (Tarttelin, 1987).

Die Harn-pH-Werte, die in der Literatur als wirksam gegen eine Übersättigung des Katzenharns an struvitsteinbildenden Komponenten beschrieben werden, um der Bildung von Struvitkristallen entgegenzuwirken, beziehungsweise die Harn-pH-Werte, bei denen eine Auflösung bereits bestehender Struvitsteine

möglich ist, differieren in geringem Maße, bewegen sich aber in den selben Bereichen.

So wird einigen Untersuchungen zufolge erst durch das Absenken des pH-Werts auf einen Wert von 6,6 eine Reduktion des Risikos der Auskristallisation von Struvitsteinen erreicht (Skoch et al., 1991; Burger, 1986). Cottam et al. (2002) beschreibt Harn-pH-Werte zwischen 6,0 und 6,4 bei adulten Katzen als optimal zur Verringerung des Erkrankungsrisikos an Struvit. Nach Pastoor et al. (1994) besitzen Harn-pH-Werte von unter 6,5 die Fähigkeit, bereits gebildete Struvitkristalle zu lösen, wobei eine weitere Senkung unter Werte von 6,0 die Gefahr einer metabolischen Azidose bergen soll. Außerdem muss beachtet werden, dass eine starke Absenkung des Harn-pHs durch eine starke Ansäuerung des Futters einigen Studien zufolge eine erhöhte Ausscheidung von Kalzium mit dem Harn herbeiführt, die bis zu einer negativen Kalziumbilanz des Organismus reichen kann. Zum Teil stammt das Kalzium hierbei aus einer vermehrten Freisetzung aus den Knochen zur Pufferung des Blut-pHs und birgt so bei längerem Kalziumverlust die Gefahr einer Osteoporose (Ching et al., 1989).

Bei einem pH-Wert des Harns von 7,0 und höher wird ein Auskristallisieren von Magnesium-Ammonium-Phosphat wahrscheinlich (Tarttelin, 1987).

Die Bedeutung des Harn-pH-Werts begründet sich auf der Bereitstellung der Struvitbausteine im Harn bei entsprechenden Werten. Die Konzentration von Ammonium steigt als Protonenakzeptor in saurem Harn. Diese Reaktion ist für das Risiko einer Auskristallisierung von Magnesium-Ammonium-Phosphatsteinen weniger bedeutsam als der durch eine Senkung des Harn-pHs erreichte reduzierte Gehalt an trivalentem Phosphat.

Zur Ansäuerung eines Futters, das prophylaktisch oder therapeutisch gegen Struvitsteine eingesetzt wird, stehen unterschiedliche Zulagen zur Verfügung, die dem Futter zugesetzt werden können (Kienzle et al. 1993; Izquierdo et al., 1991; Taton et al., 1984).

Welchen Einfluss das jeweilige Futter auf den pH-Wert des Harns von Katzen hat, wird nach Analyse der enthaltenen Mineralstoffkonzentrationen mit Hilfe der Kationen-Anionen-Bilanz vorhergesagt. Demnach sollte Futter, das der Auflösung von Struvitsteinen dient, einen Wert der Kationen-Anionen-Bilanz von unter -260 mmol/kg Trockenmasse Futter aufweisen. Dadurch ist ein Harn-pH von unter 6,5 gewährleistet. Futter, das prophylaktisch zur Struvitsteinbekämpfung eingesetzt wird, sollte eine KAB von ungefähr 0 mmol/kg Trockenmasse Futter aufweisen, womit sich ein Harn-pH von unter 7 ergibt. Dieses Ergebnis soll zunächst durch die Eliminierung alkalisierender Komponenten erreicht werden und erst, wenn dies auf diese Weise nicht mehr möglich ist, über die Zulage azidierender Substanzen (Kienzle et al., 1993). Um das gesundheitliche Risiko durch eine Ansäuerung des Futters zu minimieren,

sollte das Futter möglichst wenig alkalisierende Komponenten enthalten, die durch azidierende Substanzen neutralisiert werden müssen (Kienzle et al., 1994). Katzen akzeptieren Rationen mit einem Basen-Exzess bis ungefähr -1079 mmol/kg Trockensubstanz Futter. Bei weiterem Absinken wird kein Futter mehr durch die Tiere aufgenommen (Wilms-Eilers, 1992).

Ein weiterer bedeutender Faktor einer Struvitsteindiät ist der Magnesiumgehalt (Osborne et al., 1990), wobei die entscheidende Rolle der tatsächlichen Aufnahme des Magnesiums durch das Tier und nicht allein der Magnesiumkonzentration des Futters zukommt. Diese Tatsache muss bei ad libitum-Fütterung bedacht werden (Tarttelin, 1987). Magnesium ist als Inhibitor von Oxalatkristallen in kommerziellen Futtermitteln gelegentlich in zu hohen Mengen vertreten. Zur Prävention einer Struviturolithiasis darf der bedarfsgerechte Magnesiumgehalt nicht überschritten werden, um eine mögliche Übersättigung des Harns an diesem Baustein von Struvit zu vermeiden (Houston et al., 2004; Buffington et al., 1998; Burger, 1986; Sanders et al., 1985).

Auch eine übermäßige Ammoniumausscheidung über den Harn muss vermieden werden, um eine Erkrankung an Struvitsteinen zu verhindern beziehungsweise zu behandeln. Dafür sollte die exzessive Aufnahme von Proteinen mit dem Futter durch die Katzen ausgeschlossen werden. Da die erhöhte Aufnahme von Proteinen eine gesteigerte Metabolisierung von Harnstoff zur Folge hat und dadurch wiederum vermehrt Ammoniak sowie Ammonium im Harn vorhanden ist (Osborne et al., 1996). Andererseits besitzen Proteine einen harnansäuernden Effekt, der einigen Studien zufolge zur Struvitprophylaxe genutzt werden kann (Funaba et al., 2003).

Um eine exzessive Phosphatausscheidung mit dem Harn zu vermeiden, ist darauf zu achten, dass Phosphor nicht in übermäßigen Mengen mit der Nahrung aufgenommen wird. Außerdem muss ein ausgewogenes Kalzium-Phosphor-Verhältnis in dem Katzenfutter vorliegen, da im Falle eines erniedrigten Kalzium-Phosphor-Gradienten die Phosphatausscheidung der Nieren über eine gesteigerte Ausschüttung von Parathormon der Nebenschilddrüse erhöht wird (Sanders et al., 1985). Kienzle et al. (1993) empfiehlt in angesäuerten Diäten ein relativ enges Kalzium-Phosphor-Verhältnis von 1,1 zu 1, da in saurem Harn die Ausscheidung von Phosphor erhöht ist. Auf das Struvitrisiko hat dies keinen Einfluss, weil Phosphor in saurem Harn nicht in Form von anionischen Phosphaten vorliegt.

In **Tabelle 1** sind die in der Literatur empfohlenen Konzentrationen der Nährstoffe aufgelistet, die für die Therapie und Prophylaxe in Bezug auf die Bildung von Struvitsteinen von Bedeutung sind (Allen et al., 2002).

Tabelle 1: Richtwerte für maßgebliche Nährstoffe bei der Prophylaxe und Therapie von Struvitsteinen in kommerziellen Futtermitteln (nach Allen et al., 2002)

Richtwerte für Nährstoffgehalte in kommerziellen Futtermitteln für Katzen		
Nährstoff	Prophylaxe	Therapie
	% TS	% TS
Phosphor	0,5-0,9	0,5-0,8
Natrium	0,2-0,6	0,7-0,9
Magnesium	0,04-0,10	0,04-0,06
Protein	35-45	
Fett	8-25	
Rohfaser	9-12	

- **Beispiele azidierender Futterzusätze**

Um eine Ansäuerung des Harns bei Katzen zu erreichen, stehen unterschiedliche Methoden zur Verfügung, Futter zu diesem Zweck zu modifizieren. In der vorliegenden Studie wurde dieser erwünschte Effekt durch die Zugabe von Kalziumchlorid erreicht.

Kalziumchlorid, mit dem Futter aufgenommen, führt bei Katzen zu einem Absinken des pH-Werts im Harn, obwohl rein rechnerisch gesehen der Basenexzess im Futter dadurch nicht beeinflusst wird (Pastoor et al., 1994; Kienzle et al., 1993). Durch diesen Effekt könnte es zur Bekämpfung einer Struvitrolithiasis eingesetzt werden. Über die einzusetzenden Konzentrationen und deren exakte Wirkung auf die Beschaffenheit des Harns und auf den Säure-Basen-Haushalt des Organismus sowie die Möglichkeit, Kalziumchlorid dem Futter als Kalziumträger hinzuzufügen, um damit die Verwendung des alkalisierenden Kalziumkarbonats zu vermeiden, sind bisher wenig Daten bekannt.

Die ansäuernde Wirkung des Kalziumchlorids auf den Harn der Tiere beruht auf der Tatsache, dass mit der Nahrung aufgenommenes Kalzium im Gastrointestinaltrakt nicht in gleicher Höhe absorbiert wird wie Chlorid. Das Chlorid wird in stärkerem Maße aufgenommen (Kienzle et al., 1993). Über den Harn ausgeschiedenes Chlorid reduziert die im Harn vorliegende Bikarbonatkonzentration und hat somit ein Absinken des pH-Werts zur Folge. Gleichzeitig wird durch die Ansäuerung die Ammoniumionenkonzentration im Harn gesteigert. Des Weiteren bewirkt die Substitution von Kalziumchlorid durch die erhöhte Aufnahme von Kalzium eine verringerte Phosphorausscheidung mit dem Harn. Die dadurch und durch die Reduktion des

pH-Werts zusätzlich bedingte verminderte Konzentration an trivalentem Phosphat ist im Vergleich zum Anstieg des Ammoniumgehalts von doppelter Effizienz. Außerdem wird einer Kalziumchloridsubstitution eine geringgradig depressive Wirkung auf die Magnesiumausscheidung über den Harn zugeschrieben, die aber nicht statistisch relevant ist. Auf die Knochendichte wirkt sich Kalziumchlorid positiv aus.

Grund für die prophylaktische und therapeutische Wirkung gegenüber einer Struvitrolithiasis durch die Aufnahme von Kalziumchlorid ist demnach die Senkung des Harn-pH-Werts und die damit verbundene Senkung des Aktivitätsprodukts der Struvitkristallbausteine im Harn (Pastoor et al., 1994).

Durch die Zulage von Ammoniumchlorid in einer für den Organismus ungefährlichen Konzentration kann ebenfalls eine Minderung des pH-Werts im Harn von Katzen erreicht werden und so zur Auflösung und Vermeidung von Magnesium-Ammonium-Phosphatsteinen eingesetzt werden. Durch einen hohen Gehalt des Futters an Ammoniumchlorid wird außerdem die postprandiale Alkalisierung des Harns deutlich gemindert (Kienzle et al., 1994). Der azidierende Effekt beruht auf der Metabolisierung des Ammoniumchlorids zu Salzsäure und Harnstoff. In zahlreichen Studien sind die Wirkung und die zu verwendenden Konzentrationen zur Ansäuerung eines Futters mit Ammoniumchlorid untersucht und beschrieben worden (Funaba et al., 2001; Izquierdo et al., 1991; Taton et al., 1984). Die Möglichkeit, Ammoniumchlorid bei Katzen prophylaktisch einzusetzen, ist begrenzt. So wurde nach Aufnahme eines mit Ammoniumchlorid substituierten Futters durch Katzen Diarrhoe und Erbrechen beobachtet. Außerdem kann es durch die Geschmacksveränderung zur Ablehnung des Futters durch die Tiere kommen. Die Ansäuerung auf diesem Weg birgt durch die Metabolisierung zu einer starken Säure für die Tiere die Gefahr der Entwicklung einer metabolischen Azidose. Das ist insbesondere bei Aufnahme von zu hohen Konzentrationen oder bei Aufnahme über einen zu langen Zeitraum der Fall. Ein zusätzlicher, den Einsatz von Ammoniumchlorid begrenzender Faktor, besteht in einer Senkung der Kalzium- und Kaliumbilanz bei länger andauernder Applikation (Ching et al., 1989; Lloyd et al., 1984).

In der Zulage von Methionin besteht eine weitere Möglichkeit, den pH-Wert im Harn von Katzen zu senken. Dieser Effekt beruht auf der Metabolisierung von Methionin zu Schwefelsäure, Pyruvinsäure und Ammoniak. Obwohl Methionin in entsprechender Konzentration zu einer starken Erhöhung des Ammoniumionengehalts im Harn führt, hat es über eine Senkung des Harn-pH-Werts eine depressive Wirkung auf die Konzentration an trivalentem Phosphat. So kann Methionin über eine Senkung des Aktivitätsprodukts von Magnesium-Ammonium-Phosphat bei der Behandlung von Struvitsteinen eingesetzt werden. Beachtet werden muss hierbei, dass eine Methioninsubstitution zum Futter eine

verminderte Nahrungsaufnahme durch die Tiere zur Folge haben kann (Funaba et al., 2001; Lloyd et al., 1984).

Durch einen hohen Proteingehalt im Futter wird durch die Metabolisierung der in tierischem Protein enthaltenen schwefelhaltigen Aminosäuren Methionin und Cystein zu Sulfaten ebenfalls eine Senkung des Harn-pH-Wertes bei Katzen erreicht. Begründet auf diesen Effekt und der daraus folgenden Senkung des Aktivitätsprodukts von Struvit ist der Einsatz einer auf den Proteingehalt bezogenen hochdosierten Diät bei der Bekämpfung oder Vermeidung einer Struvitsteinerkrankung möglich (Funaba et al., 2003).

In der Supplementation von Natriumbisulfat besteht eine weitere Option, eine Absenkung des Harn-pH-Werts von Katzen über eine Ansäuerung des Futters zu erreichen. Die säuernde Wirkung beruht auf der Dissoziation des Natriumbisulfat in einer wässrigen Lösung zu Natrium, Sulfat und Wasserstoff. Die Stärke dieser Ansäuerung entspricht in etwa der von Phosphorsäure. Abgesehen davon hat eine Supplementation dieser Art weitere positive Effekte wie beispielsweise eine gesteigerte Schmackhaftigkeit und damit Akzeptanz des Futters für die Katzen. Außerdem reichen bereits relativ geringe Mengen an Natriumbisulfat aus, um die gewünschte Wirkung zu erzielen (Knueven, 2000).

Eine andere Möglichkeit, Katzenfutter zum Zweck des prophylaktischen oder therapeutischen Einsatzes bei Magnesium-Ammonium-Phosphatsteinen zu modifizieren, basiert auf einer traditionellen chinesischen Behandlungsmethode. Dazu wird das Futter supplementiert mit Choreito. Choreito ist eine Zusammensetzung aus den Pilzen *Polyporus umbellatus*, *Wolfporia cocos* und *Alisma orientale*, auch als *Takushya* bekannt, mit Gelatine und Magnesiumsilikat. Der Aufnahme von Choreito wird eine präventive Wirkung in Bezug auf das Wachstum von Struvitkristallen zugesprochen. Es wird davon ausgegangen, dass dieser Effekt auf einer Beeinflussung der Konzentration von Inhibitoren und Promotoren im Harn beruht. Die Wirkung auf den Harn-pH-Wert durch Choreito wird in zwei vorliegenden Studien unterschiedlich beurteilt. Danach konnte zum einen bei entsprechender Konzentration keine Beeinflussung des pH-Werts trotz therapeutischer Wirksamkeit festgestellt werden, wohingegen die andere Studie eine Senkung des Harn-pH-Werts nachweisen konnte. Die Wirksamkeit des Choreito wird vor allem dem *Takushya*-Pilz zugesprochen, das genaue Wirkprinzip dieser Mischung ist allerdings nicht vollständig bekannt (Buffington et al., 1997; Buffington et al., 1994).

2.5.3 Invasive Therapie

Die invasive Therapie findet vorrangig bei Steinarten Anwendung, bei denen im Gegensatz zu Struvitsteinen keine Möglichkeit der diätetischen Behandlung und damit Auflösung der Urolithen besteht. Dagegen ist bei Vorliegen einer Struvitsteinerkrankung die invasive Therapie vor allem dann Mittel der Wahl, wenn eine Obstruktion durch die Kristalle im unteren Harntrakt vorliegt. Dabei ist besonders auf die Vermeidung bakterieller Infektionen zu achten.

So kann bei Vorliegen einer Harnröhrenobstruktion das Zurückverlagern der Konkreme in die Harnblase versucht werden. Dazu wird mit Hilfe eines Katheters warme physiologische Kochsalzlösung unter mäßigem Druck in die Harnröhre appliziert. Der Erfolg dieser Methode ist häufig nur vorübergehend. Um eine Auflösung von Struvitsteinen zu erzielen, empfiehlt Kraft et al. (2000) die Gabe von Walpoles Puffer, bestehend aus Essigsäure und Natriumazetatlösung, mittels Katheter in die Harnblase oder Urethra.

Eine andere Möglichkeit der Entfernung von Harnsteinen in der Urethra ist die Zertrümmerung der Konkreme mittels Ultraschall.

Ein chirurgischer Eingriff wird notwendig, wenn eine Beseitigung der Struvitkristalle im unteren Harntrakt durch oben genannte therapeutische Maßnahmen nicht zu erreichen ist.

2.6 Andere Harnsteinarten bei Katzen

- **Kalziumoxalatsteine**

Als Ursache für die Auskristallisation von Kalziumoxalaten kann ein erhöhter Gehalt des Harns an Oxalat, Kalzium oder Harnsäure sowie ein verminderter Gehalt des Harns an Magnesium oder Zitrat eine Rolle spielen. Hierbei wird dem Konzentrationsanstieg von Oxalat die größte Bedeutung zugesprochen. Wichtig ist ebenso wie bei Struvitsteinen der Harn-pH-Wert (Hesse et al., 2002; Allen et al., 2002; Hesse et al., 1998).

Zu einer vermehrten Oxalatausscheidung über die Nieren kann es durch eine übermäßige Aufnahme von Oxalaten oder Vitamin C mit der Nahrung kommen (Hesse et al., 1998; Osborne et al., 1996). Die Bedeutung des Vitamin C liegt hierbei in der Funktion dieses Vitamins als einer Vorstufe der Oxalatbildung. Ein Mangel des Organismus an Pyridoxin kann über eine gesteigerte endogene Oxalatproduktion ebenfalls eine Hyperoxalurie herbeiführen (Osborne et al., 1996). Der endogene Stoffwechsel des Oxalats, ein metabolisches Nebenprodukt

des Glyzins, ist bei Katzen jedoch noch weitgehend unerforscht. So liegen auch keine Werte über den Gehalt von Futterinhaltsstoffen oder von Fertigfuttermitteln an Oxalat für Katzen oder Hunde vor (Allen et al., 2002).

Auch die Erhöhung der Kalziumkonzentration spielt als Risikofaktor eine wichtige Rolle (Dirks, 1985). Bei der Entstehung einer Hyperkalzurie kann die exzessive Aufnahme von Kalzium oder Natrium mit dem Futter sowie eine erhöhte Vitamin D Konzentration im Blut beteiligt sein (Hesse et al., 1998; Osborne et al., 1996). Eine gesteigerte Natriumausscheidung über die Nieren führt gleichzeitig zu einer gesteigerten Kalziumausscheidung. Vitamin D erhöht die intestinale Kalziumabsorption und führt über eine Hemmung der Parathormonausschüttung der Nebenschilddrüse zur vermehrten Kalziumexkretion über den Harn. Auch eine geringe Phosphatkonzentration, wie zum Beispiel bei Vorliegen eines Hyperparathyreoidismus, bewirkt über eine Stimulation der Vitamin D-Produktion einen erhöhten Anfall von Kalzium im Harn der Tiere (Allen et al., 2002; Hesse et al., 1998; Osborne et al., 1996). Ein weiterer Risikofaktor besteht in einer Azidose des Organismus (Osborne et al., 1996). Sie hat eine gesteigerte Kalziummobilisation aus den Knochen sowie eine reduzierte Kalziumreabsorption in den Nierentubuli zur Folge und bedingt auf diese Weise einen Anstieg der Harn-Kalziumkonzentration.

Durch einen erhöhten Gehalt des Harns an Harnsäure wird die Löslichkeit von Kalziumoxalatkristallen herabgesetzt. Eine Erkrankung wird so begünstigt.

Zitrat dagegen ist durch die Bindung von Kalzium ein wirksamer Inhibitor der Auskristallisation von Kalziumoxalaten (Allen et al., 2002; Fleisch, 1978). Die Komplexbildung wird durch einen alkalischen pH-Wert und eine dadurch bedingte gesteigerte Reaktivität des Zitrats verstärkt. Durch die Aufnahme von Zitrat mit dem Futter kann der Zitratgehalt des Harns bei Katzen vermutlich nicht beeinflusst werden. Eine Reduktion der Zitratausscheidung mit dem Harn kommt durch eine metabolische Azidose zustande als Folge einer Erhöhung des Zitratstoffwechsels in den Nierentubuli (Osborne et al., 1996). Ein alkalischer Harn-pH-Wert erzielt den gegenteiligen Effekt (Allen et al., 2002).

Ein weiterer Inhibitor der Kalziumoxalatkristallisation ist Magnesium (Fleisch, 1978). Die hemmende Wirkung von Magnesium beruht auf der Komplexbildung mit Oxalat. Außerdem wird einer Magnesiumerhöhung im Harn eine Steigerung der Zitratausscheidung mit dem Harn sowie eine Steigerung des Harn-pH-Werts nachgesagt (Allen et al., 2002).

Die im Harn bestehenden Bedingungen, die verantwortlich sind für das Wachstum der bei Katzen am häufigsten zu findenden Urolithen, Struvit und Kalziumoxalat, unterscheiden sich grundlegend voneinander. Sie sind nahezu gegensätzlich. So wird durch ein Absenken des pH-Werts im Harn von Katzen als prophylaktische beziehungsweise therapeutische Maßnahme gegen eine Struviturolithiasis gleichzeitig das Risiko für das Kristallwachstum von Kalziumoxalaten angehoben (Smith et al., 1998). Dieser Effekt wird durch eine

Reduktion der Magnesiumaufnahme noch verstärkt, da Magnesium als Inhibitor von Kalziumoxalatsteinen fungiert (Cottam et al., 2002). Während die Häufigkeit von feline Oxalatkristallen stetig ansteigt, nimmt das Vorkommen von Struvitsteinen bei Katzen offensichtlich ab. Vermutlich hängt die vermehrte Bildung von Kalziumoxalaten mit einer, die Entstehung von Magnesium-Ammonium-Phosphatkristallen vermeidenden Fütterung wie einer Ansäuerung des Futters zusammen (Lekcharoensuk et al., 2001; Osborne et al., 1996).

Die Häufigkeit, mit der Urolithen, bestehend aus Kalziumoxalat, laut Angaben in der Literatur bei Katzen auftreten, ist in den letzten Jahrzehnten stetig gestiegen. So wird von Osborne et al. im Jahr 1996 die Häufigkeit des Auftretens von Kalziumoxalaten bei Katzen mit 39,6 % und im Jahr 1999 bereits mit über 50 % angegeben. Kastrierte Tiere sind offenbar häufiger betroffen, wobei die Zahl der männlichen Tiere überwiegt. Das durchschnittliche Alter der erkrankten Tiere wird mit $7,3 \pm 3,4$ Jahren angegeben (Hesse et al., 1998; Osborne et al., 1996).

In der Humanmedizin handelt es sich bei Kalziumoxalatsteinen um die am häufigsten auftretenden Harnsteine. So sind etwa 60-80 % der humanen Urolithen aus Kalziumoxalatkristallen aufgebaut (Allen et al., 2002).

- **Ammoniumuratsteine**

Ammoniumuratsteine wachsen in leicht azidem Harn mit Werten von über 6,5 und in basischem Milieu. Sie können infektiös bedingt sein oder in steriler Form vorliegen (Hesse et al., 2002). Das Vorhandensein einer Infektion mit Ureaseproduzierenden Bakterien begünstigt die Auskristallisation von Ammoniumuraten durch einen erhöhten Anfall von Ammoniak und Ammonium im Harn als Folge der Harnstoffspaltung durch das Enzym Urease. Weiter spielt eine metabolische Azidose sowie ein saurer Harn-pH-Wert mit der Folge einer gesteigerten Konzentration an Ammoniumionen und einer herabgesetzten Löslichkeit von Harnsäure im Harn als Risikofaktoren eine Rolle. Die exzessive Aufnahme von Purinen beziehungsweise deren Vorstufen, die vor allem in der Leber in hohem Maße vorkommen, bedingt eine gesteigerte Ausscheidung von Harnsäure durch den Abbau von Purinen und begünstigt so eine Übersättigung des Harns. Ebenso kann die hochdosierte Aufnahme von Proteinen durch eine erhöhte Bereitstellung von Harnstoff zur Metabolisierung von Ammoniak und Ammonium einen Risikofaktor für die Auskristallisation von Ammoniumurat darstellen. Zusätzlich können Erkrankungen der Leber, die eine Störung des Harnsäuremetabolismus bedingen, durch eine gesteigerte Harnsäureexkretion zu einer Bildung von Ammoniumuratsteinen beitragen (Osborne et al., 1996). Tiere, die an Pfortadershunts leiden, sind ebenfalls prädisponiert für die Entwicklung dieser Harnsteinart (Allen et al., 2002). Auch ein vermehrter

Abbau von Nukleinsäure, wie er bei manchen Erkrankungen wie beispielsweise Leukämie vorkommt, kann über die gesteigerte Purinausscheidung eine Übersättigung des Harns an Ammoniumuratbausteinen begünstigen (Osborne et al., 1996; Osborne et al., 1992).

Harnsteine, bestehend aus Ammoniumurat, werden bei Katzen nach Osborne et al. (1996) mit einer Häufigkeit von 4,8 % gefunden. Eine Studie von Escolar et al. (2003) beschreibt einen ungewöhnlich hohen prozentualen Anteil der Ammoniumurate an den untersuchten Steinen von 29,4 %. Die Harnblase stellt dabei die häufigste Lokalisation dar. Männliche und weibliche Tiere werden als gleichermaßen betroffen angegeben, wobei die Zahl der kastrierten Tiere unter den Erkrankten überwiegt. Das durchschnittliche Alter der betroffenen Katzen wird mit $6,1 \pm 3,1$ Jahren beschrieben (Osborne et al., 1996).

- **Kalziumphosphatsteine**

Diese Form von Harnsteinen kann bei Katzen entstehen, wenn die Kalziumkonzentration des Harns den Normalbereich überschreitet (Osborne et al., 1996). Das kann die Folge einer exzessiven Vitamin D-Aufnahme über die Nahrung sein. Vitamin D stimuliert die intestinale Kalziumabsorption und bewirkt über eine Hemmung der Parathormonausschüttung der Nebenschilddrüse, dass vermehrt Kalzium über die Nieren ausgeschieden wird. Eine gesteigerte Kalziumexkretion mit dem Harn kann auch bedingt sein durch eine exzessive Kalzium- oder Natriumaufnahme mit dem Futter. Die Ausscheidung von Natrium und Kalzium ist miteinander gekoppelt. Ein zu geringer Gehalt des Serums an Phosphat, beispielsweise bei Vorliegen eines Hyperparathyreoidismus, kann über eine Stimulation der Vitamin D-Bildung und die dadurch erhöhte Kalziumserumkonzentration und Kalziumausscheidung zu einer Übersättigung des Harns mit Kalzium beitragen. Dem Bestehen einer Azidose kommt über eine vermehrte Kalziummobilisation aus den Knochen und gleichzeitig einer reduzierten Kalziumreabsorption in den Nierentubuli bei der Kristallbildung von Kalziumphosphaten Bedeutung zu.

Der zweite wichtige Risikofaktor besteht in einer erhöhten Phosphatkonzentration des Harns. Als Ursache hierfür kommt eine exzessive Phosphoraufnahme über die Nahrung sowie ein alkalischer Harn-pH-Wert in Frage (Osborne et al., 1996). Im alkalischen Harn wird vermehrt Phosphat durch die Abspaltung von Protonen aus Hydrogenphosphat und Dihydrogenphosphat gebildet und steht als Baustein der Kalziumphosphatsteine bereit. Bei Bestehen einer renalen tubulären Azidose ist die Fähigkeit der Nieren, den Harn-pH-Wert zu reduzieren, eingeschränkt, woraus eine Alkalisierung des Harns mit einer verringerten Zitratkonzentration und den beschriebenen Folgen resultieren kann. Diese Störung tritt aber bei Katzen im Gegensatz zum Menschen sehr selten in

Erscheinung (Allen et al., 2002). Zitrat gilt, wie auch bei Kalziumoxalatsteinen, durch die Komplexbildung mit Kalzium als wirksamer Inhibitor dieser Steinart (Fleisch, 1978). Die Löslichkeit von Kalziumphosphaten, mit Ausnahme der Kalziumhydrogenphosphate (Brushit), ist so in alkalischem Harn herabgesetzt (Hesse et al., 2002; Osborne et al., 1996; Osborne et al., 1992).

Urolithen, bestehend aus Kalziumphosphat, treten bei Katzen nach Angaben in der Literatur mit einer Häufigkeit von 0,3 % in Erscheinung. Auch Kalziumphosphatkristalle bilden sich bevorzugt in der Harnblase der Tiere. Steine dieser Art werden bei weiblichen und männlichen Tieren gleichermaßen gefunden, wobei das Durchschnittsalter der erkrankten Katzen mit 8 ± 5 Jahren beschrieben wird (Osborne et al., 1996).

- **Zystinsteine**

Zystinsteine sind die Folge eines autosomal rezessiv vererbten Defekts im Zystinstoffwechsel (Hesse et al., 2002). Durch eine Transportstörung der Tubulusepithelien der Nieren ist keine Rückresorption von Zystin möglich (Kraft et al., 2000). Von dieser Störung sind auch andere Aminosäuren betroffen, wie beispielsweise in der Humanmedizin Lysin, Arginin und Ornithin (Hesse et al., 1998). Unter diesen Aminosäuren ist Zystin die im Harn am schlechtesten lösliche. Die Folge ist eine Übersättigung des Harns mit möglicher Kristallbildung. Die Bildung von Zystinsteinen ist abhängig von dem Harn-pH-Wert. Zu einer Übersättigung des Harns mit folgender Auskristallisation kommt es in saurem Harn. Die Löslichkeit von Zystin nimmt mit steigendem Harn-pH-Wert zu (Kraft et al., 2000; Hesse et al., 1998; Osborne et al., 1992).

Die Häufigkeit, mit der Zystinsteine bei Katzen angetroffen werden, wird mit 0,3 % in der Literatur beschrieben. Es können sowohl Kätzinnen als auch Kater betroffen sein (Kraft et al., 2000; Osborne et al., 1996).

- **Xanthinsteine**

Urolithen, die aus Xanthinkristallen bestehen, treten bei Katzen nur selten auf. Xanthin stammt aus dem Purinabbau und wird unter Beteiligung des Enzyms Xanthinoxidase zu Harnsäure abgebaut. Ein Mangel dieses Enzyms, der angeboren sein kann, oder durch Allopurinol bedingt sein kann, einem Inhibitor der Xanthinoxidase, führt zur Übersättigung des Harns mit Xanthin und folgender Auskristallisierung (Osborne et al., 1996; Osborne et al., 1990; Henning, 1987; Lehninger et al., 1998).

Nach einer Studie von Osborne et al. wurden 1996 bei 0,1 % der untersuchten Katzen Xanthinsteine beobachtet.

Metabolisch bedingte Steinarten wie Urate, Zystine und Xanthine treten in der Regel in mittlerem Alter der Katzen mit etwa 4 bis 6 Jahren auf. Eine Prädisposition in Abhängigkeit des Geschlechts konnte bisher nicht beobachtet werden (Houston et al., 2003).

3 Material und Methoden

3.1 Versuchsaufbau

Der Versuch gliederte sich in drei übergeordnete Abschnitte.

Zunächst wurden die Versuchstiere in einer Vorperiode von 31 Tagen mit einem Vergleichsfutter unter Versuchsbedingungen angefüttert, um eine Stabilisierung der Harnparameter sowie eine Gewöhnung an die Versuchsbedingungen zu erreichen. Hierbei handelte es sich um ein kommerzielles Feuchtfutter.

Darauf folgte eine Periode von wiederum 31 Tagen, in der die Tiere ein weiteres, kommerziell erhältliches Feuchtfutter zu fressen bekamen, das Versuchsfutter ohne eigene Substitution. Dieses diente im weiteren Verlauf der Studie als Grundlage für das Versuchsfutter der jeweiligen Versuchsphase sowie als Futter der Kontrollgruppe. Dadurch war ein Vergleich der Harnparameter der zwei kommerziellen Alleinfutter möglich.

Im dritten Abschnitt des Experiments wurde die eigentliche Fütterungsstudie durchgeführt zur Entwicklung eines Feuchtfutters, das ein Absinken des pH-Werts im Harn der Versuchstiere bewirken sollte. Hierbei bekamen jeweils sieben Katzen das Versuchsfutter verabreicht und jeweils sieben Katzen wurden als Kontrollgruppe mit dem kommerziellen Futter weitergefüttert. Der eigentliche Fütterungsversuch gliederte sich in vier Versuchsphasen zu jeweils durchschnittlich 14 Tagen.

In der ersten Phase dieses Abschnitts wurde dem Futter ein Teil seines Kalziumkarbonatgehalts entzogen und durch die gleiche Menge an Kalziumchlorid ersetzt.

In der zweiten Versuchsphase wurde die Konzentration des supplementierten Kalziumchlorids erhöht.

In der dritten Phase dieses Abschnitts wurde dem Versuchsfutter zusätzlich zum Kalziumchlorid Ammoniumchlorid zugesetzt.

Abschließend wurde in der vierten Versuchsphase zur Bestätigung der Ergebnisse Versuchsfutter verabreicht, das der Futterhersteller selber gefertigt hatte. Dieses Futter entsprach von seinem Gehalt an Kalziumkarbonat und Kalziumchlorid dem der zweiten Versuchsphase.

Jeweils zum Ende einer Fütterungsperiode wurde eine 24stündige Harnsammlung durchgeführt. Aus dem gewonnenen Harn wurde jeweils der pH-Wert, das spezifische Gewicht, das Volumen sowie der Kalziumgehalt bestimmt. Eine Darstellung des Versuchsablaufs ist der **Abbildung 4** zu entnehmen.

↓ : 24stündige Harnsammlung					
↓		↓		↓	
31 Tage	31 Tage	14 Tage	14 Tage	14 Tage	14 Tage
Vorperiode 1	Vorperiode 2	Versuchsphase 1	Versuchsphase 2	Versuchsphase 3	Versuchsphase 4
Vorperiode		Fütterungsversuch			

Abbildung 4: Schematische Darstellung der verschiedenen Abschnitte der Fütterungsstudie

3.2 Versuchstiere

Für die Fütterungsstudie standen 14 institutseigene Katzen der Rasse Europäisch Kurzhaar zur Verfügung.

Die Katzen wurden in Gruppen von 2 bis 4 Tieren in Käfigen der Versuchstierhaltung Oberwiesenfeld des Lehrstuhls für Tierernährung der Ludwig-Maximilians-Universität München gehalten.

Es handelte sich um 7 männliche und 7 weibliche adulte Tiere. Vier der Kater und eine der Katzen waren kastriert, ein Kater war einseitiger Kryptorchide. Das Alter der Tiere betrug ein bis sieben Jahre. Das Ausgangsgewicht der Versuchstiere reichte von 3,2 kg bis 6,4 kg. Zur Überwachung des Gesundheitszustands wurde zu Beginn des Versuchs sowie jeweils am Ende einer Fütterungsperiode eine Blutentnahme durchgeführt. Die Gewichtsentwicklung der Tiere wurde regelmäßig über die gesamte Versuchsdauer hinweg kontrolliert und festgehalten. Die Katzen waren geimpft und entwurmt.

Für die Fütterungsstudie wurden die Tiere randomisiert nach Alter und Geschlecht in eine Versuchs- und eine Kontrollgruppe eingeteilt. Die Einzeldaten zu den Versuchstieren sind der **Tabelle 2** zu entnehmen.

Tabelle 2: Einzeldaten zu den Versuchskatzen, die Gruppenzugehörigkeit (V = Versuchsgruppe, K = Kontrollgruppe), das Alter (in Jahren), das Geschlecht (m = männlich, w = weiblich, mk = männlich kastriert, wk = weiblich kastriert) und das mittlere Körpergewicht während des Versuchszeitraums (in kg)

Versuchstier- nummer	Gruppe	Alter (in Jahren)	Geschlecht	Durchschnittliches Körpergewicht während des Versuchszeitraums (in kg)
1	V	6	m/k	5,7
2	V	2	m	3,8
3	V	2	w	3,0
4	V	2	m	3,7
5	V	1	w	2,8
6	V	6	w/k	4,5
7	V	3	m/k	4,9
8	K	6	m/k	5,7
9	K	2	m/k	3,6
10	K	5	w	3,3
11	K	6	w	4,3
12	K	5	w	4,3
13	K	6	m	4,1
14	K	3	w	3,9

Tierversuchsgenehmigung

Ein Antrag auf Genehmigung des Versuchsvorhabens wurde gemäß § 8 Abs.1 des Tierschutzgesetzes bei der Regierung von Oberbayern eingereicht. Die Genehmigung wurde erteilt.

3.3 Versuchsfutter

Grundlage für das Versuchsfutter bildete das Feuchtfutter „Cachet“ des Futterherstellers Saturn Petfood, Bremen. Als Vergleichsfutter wurde ein in Deutschland hergestelltes kommerzielles Feuchtfutter für Katzen verwendet. Die Inhaltsstoffe gemäß Deklaration der Hersteller sind den **Tabellen 3** und **4** zu entnehmen.

Tabelle 3: Gehalt an Rohnährstoffen laut Deklaration der Hersteller in Prozent der ursprünglichen Substanz (uS)

Rohnährstoff	Rohprotein	Rohfett	Rohasche	Rohfaser	Feuchte
	% uS				
Vergleichsfutter	8	4	2	0,3	81
Cachet	11	4,5	2	0,2	81

Tabelle 4: Gehalt an Zusatzstoffen laut Deklaration der Hersteller

Zusatzstoff	Vitamin E	Vitamin B1	Vitamin D3	Biotin	Taurin
	mg/kg	mg/kg	IE/kg	µg/kg	mg/kg
Vergleichsfutter	8	0,9			
Cachet	100		200	100	100

Die Herstellung des Versuchsfutters für die erste Phase der Fütterungsstudie erfolgte durch die Firma Saturn Petfood selbst. Hierbei wurde dem Feuchtfutter „Cachet“ von seinem Gesamtkalziumkarbonatgehalt von 520 mg pro 100 g Futter 130 mg Kalziumkarbonat pro 100 g entzogen. Das entsprach 25 % des Gesamtgehalts an Kalziumkarbonat. Dieses wurde nun durch 130 mg Kalziumchlorid ersetzt. Da der Gehalt an Kalzium in Kalziumkarbonat einen Anteil von 36 % ausmacht, in Kalziumchlorid aber nur 22 %, bedeutete dies eine Reduzierung des Kalziumgehalts um 18,2 mg pro 100 g aufgenommenem Versuchsfutter.

Dem Futter des zweiten Versuchsdurchgangs wurden weitere 130 mg Kalziumchlorid pro 100 g zugesetzt, was insgesamt einem Kalziumchloridgehalt von 260 mg pro 100 g Futter entsprach. Dies geschah durch eigene Supplementierung vor Ort.

Zur Herstellung des Futters der dritten Versuchsphase wurden ebenfalls 130 mg Kalziumkarbonat pro 100 g Futter entzogen, 260 mg Kalziumchlorid pro 100 g beigemennt und zusätzlich 83 mg Ammoniumchlorid pro 100 g Futter hinzugefügt. Die Konzentrationserhöhung des Kalziumchlorids sowie das Hinzufügen des Ammoniumchlorids erfolgte wieder durch eigene Supplementierung vor Ort.

Den Abschluss der Fütterungsstudie bildete ein Futter, das dem Versuchsfutter der Versuchsphase 2 entsprach, diesmal von der Firma Saturn Petfood selbst hergestellt. Der Kalziumkarbonatgehalt des Feuchtfutters „Cachet“ wurde um 25 % reduziert und durch 260 mg Kalziumchlorid ersetzt.

In **Abbildung 5** ist die schrittweise Ansäuerung des Versuchsfutters dargestellt.

Versuchsfutter 1	Versuchsfutter 2	Versuchsfutter 3	Versuchsfutter 4
-130mg CaCO ₃ +130mg CaCl ₂	-130mg CaCO ₃ +260mg CaCl ₂	-130mg CaCO ₃ +260mg CaCl ₂ +83mg NH ₄ Cl	-130mg CaCO ₃ +260mg CaCl ₂
Versuchsphase 1	Versuchsphase 2	Versuchsphase 3	Versuchsphase 4

Abbildung 5: Schematische Darstellung der Ansäuerung des in der Fütterungsstudie verwendeten Versuchsfutters mittels Kalziumchlorid und Ammoniumchlorid

3.4 Fütterungstechnik

Die Fütterung der Katzen fand einmal am Tag statt. Sie bekamen das Futter täglich von 9.30 Uhr bis 10.30 Uhr vorgesetzt. So wurden möglichst vergleichbare Fütterungsbedingungen geschaffen. Um zu gewährleisten, dass jede Katze die für sie bestimmte Ration fraß, die nach dem individuellen Energiebedarf jedes einzelnen Tieres entsprechend Körpergewicht und Bewegungsintensität bestimmt worden war, wurden die Tiere zur Nahrungsaufnahme getrennt in Stoffwechselkäfige gesetzt. Auf diese Weise wurde es ermöglicht, eine Aussage über die Akzeptanz des einzelnen Tieres gegenüber den verschiedenen Versuchsfuttermitteln zu treffen. Die Katzen standen in dieser Zeitspanne durchgehend unter Beobachtung. Sauberes Trinkwasser stand jederzeit zur Verfügung.

Nach Ablauf einer Stunde wurden eventuell nicht aufgefressene Futterreste rückgewogen und die Gewichte notiert.

Für den Verlauf der eigentlichen Versuchsperiode wurden die Versuchstiere in eine Kontrollgruppe, bestehend aus sieben Tieren, und eine Versuchsgruppe,

ebenfalls bestehend aus sieben Tieren, eingeteilt. Diese Gruppeneinteilung wurde randomisiert nach Alter und Geschlecht durchgeführt. Näheres dazu ist **Tabelle 2** zu entnehmen.

3.5 Probengewinnung

Am letzten Tag jeder Fütterungsperiode wurden die Versuchstiere einzeln für 24 Stunden in die Stoffwechselkäfige, in denen sie täglich gefüttert wurden, eingesetzt. So konnte der Harn jeder Versuchskatze, der innerhalb von 24 Stunden abgesetzt wurde, gesammelt und die gesuchten Harnparameter daraus bestimmt werden.

Die Käfige waren aus Edelstahl und ihre Ausmaße betragen sieben Mal 60 x 52,5 x 60 cm, sechs Mal 60 x 54 x 61 cm und ein Mal 92 x 76 x 80 cm. Sie waren versehen mit einem Lochboden aus Kunststoff, unter dem sich eine Auffangwanne ebenfalls aus Edelstahl befand. Die Wannen waren an einer Ecke mit einem Ausguss ausgestattet. Zur Säuberung der Stoffwechselkäfige wurden keine Reinigungs- oder Desinfektionsmittel verwendet.

Eingesetzt wurden die Tiere zu demselben Zeitpunkt, zu dem auch ihre tägliche Fütterung stattfand. Ihr Futter bekamen sie wie gewohnt für eine Stunde vorgesetzt. Sauberes Trinkwasser stand ihnen durchgehend während der 24 Stunden zur Verfügung. Beendet wurde die Sammlung am darauffolgenden Tag mit Beginn der nächsten Fütterung.

Um den abgesetzten Harn der Tiere zu gewinnen, wurden die Auffangwannen jeweils so erhöht, dass der Harn in die Ecke des Ausgusses fließen konnte. Dort war mit Hilfe einer Drahtkonstruktion ein 150 ml fassender Becher aus Kunststoff mit Vorrichtung für einen Schraubdeckel befestigt. In den Sammelbechern befanden sich jeweils 6 ml Paraffin und eine Spatelspitze Thymol zur Konservierung des abgelaufenen Harns. In einem Probedurchlauf wurde diese Methode getestet sowie das Zeitintervall ermittelt, in dem bei dieser Art der Harnkonservierung keine nennenswerten Veränderungen der gesuchten Harnparameter stattfindet. Die Ergebnisse dieses Probedurchgangs sind in **Tabelle 5** dargestellt.

Tabelle 5: Probedurchlauf einer 24stündigen Harnsammlung zur Überprüfung der gewählten Konservierungsart sowie zur Ermittlung des Zeitintervalls, in dem keine nennenswerte Veränderung der gesuchten Harnparameter stattfindet.

Veränderung des Harn-pH-Wertes bei einer Konservierung mittels Paraffin und Thymol im Verlauf von 24 Stunden	
Zeit nach der Gewinnung (Minuten)	pH-Wert
10	7,03
20	7,02
30	7,04
40	6,99
50	6,99
60	7,02
70	7,01
90	7,00
110	7,00
130	7,03
150	7,04
170	7,09
410	7,11
650	7,11
1070	7,06
1370	7,11
1440	7,11

Aus diesen Werten ergab sich ein festgelegtes Schema, nach dem die Kontrollgänge und damit das Einsammeln möglicherweise gefüllter Harnbecher durchgeführt wurden. In den ersten vier Stunden wurde stündlich Harn eingesammelt, um den Einfluss der Fütterung auf die Parameter zu erfassen. In den nächsten acht Stunden folgten zweistündige Sammelintervalle. In der Nacht wurden Kontrollgänge im Abstand von vier Stunden durchgeführt. Die letzte Sammlung fand unmittelbar vor der erneuten Fütterung statt. Die Zeiten der Sammeldurchgänge sind in **Abbildung 6** dargestellt.

24stündige Harnsammlung												
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	15:30	17:30	19:30	21:30	01:30	03:30	07:30	09:30
Zeitpunkt der Kontrollgänge												

Abbildung 6: Schematische Darstellung des zeitlichen Ablaufs der Probensammlung innerhalb der 24stündigen Harngewinnung

Die gesammelten Harnproben wurden in frischem Zustand auf ihren pH-Wert, das spezifische Gewicht sowie das Harnvolumen untersucht. Von jedem Versuchstier wurde außerdem eine Harnsammelprobe aus der 24stündigen Sammlung erstellt. Dazu wurden die Proben von der Paraffin-Thymol-Lösung getrennt. Die Sammelproben wurden bis zu eventuell nachfolgenden Untersuchungen bei -20°C in Reagenzgläsern tiefgefroren.

3.6 Angewandte Untersuchungsmethoden

3.6.1 Harnanalysen

- **Bestimmung des pH-Werts**

Der pH-Wert des Harns der Versuchstiere wurde durch elektrometrische Messung mittels digitalem pH-Meter nach vorheriger Eichung des Gerätes eruiert. Bei dem verwendeten Messgerät handelte es sich um das pH 325 WTW Mess- und Analysegeräte GmbH (Wien, Österreich), mit der pH-Elektrode Sen Tix 97/T WTW Mess- und Analysegeräte GmbH (Wien, Österreich).

Für die Bestimmung wurden frische Harnproben herangezogen. Dazu wurde der innerhalb der 24stündigen Sammlung abgesetzte Harn in regelmäßigen Intervallen eingesammelt und bis zur Untersuchung mittels Paraffin-Thymol-Lösung konserviert, so dass bis zum Zeitpunkt der Analyse keine Veränderung des pH-Wertes erfolgen konnte.

Zur Bestimmung des pH-Wertes im Harn der Versuchstiere wurde ein digitales pH-Meter verwendet, was jeweils zu Beginn einer 24stündigen Probensammlung geeicht wurde. Die Sonde des Gerätes wurde dazu direkt in den zu untersuchenden Harn getaucht. Nachdem ein konstanter Wert erreicht

war, wurde dieser notiert. Die Sonde wurde sowohl vor als auch nach jeder Analyse mit destilliertem Wasser gespült und anschließend in Kaliumchlorid getaucht gelagert. Das pH-Meter zeigte zusätzlich die jeweilige Temperatur der Harnproben an.

- **Bestimmung des Spezifischen Gewichts**

Das spezifische Gewicht des Harns wurde mit Hilfe eines Refraktometers gemessen. Bei dem verwendeten Gerät handelte es sich um das Handrefraktometer der Firma A. KRÜSS Optronic (Hamburg, Deutschland).

Die Bestimmung des spezifischen Gewichts des Harns erfolgte ebenfalls während der 24stündigen Probensammlung sofort vor Ort aus den frischen Harnproben. Dafür wurde mit einer Pipette jeweils soviel Harn aus den Sammelbechern entnommen, dass die Messfläche des Refraktometers damit vollständig benetzt werden konnte. Bei der Entnahme wurde darauf geachtet, dass die Probe unter der an der Oberfläche schwimmenden Konservierungsschicht aus Paraffin und Thymol entnommen wurde. Das Refraktometer wurde nun gegen eine Lichtquelle gehalten und das Ergebnis an der Skala abgelesen. Nach jeder Untersuchung wurde die Messfläche gründlich gereinigt.

- **Bestimmung des Harnvolumens**

Die Bestimmung des Harnvolumens erfolgte rein rechnerisch anhand des Harngewichts sowie des spezifischen Gewichts des Harns.

Für die Bestimmung des Volumens wurden ebenfalls die frisch abgesetzten Harnproben herangezogen. Dazu wurden die während der 24stündigen Probengewinnung eingesetzten Sammelbecher mit der Paraffin-Thymol-Lösung befüllt und gewogen. Das Gewicht wurde notiert. Die mit Harn gefüllten eingesammelten Probenbecher wurden dann erneut gewogen, bevor die weiteren Untersuchungen stattfanden. Das Volumen des von den Versuchstieren abgesetzten Harns konnte nun nach der Bestimmung des spezifischen Gewichts anhand folgender Formel berechnet werden:

Harnvolumen = Harngewicht / spezifisches Gewicht des Harns

- **Bestimmung des Kalziumgehalts**

Die Bestimmung des Kalziumgehalts des Harns erfolgte durch photometrische Messung der Flammenfärbung mittels Flammenphotometer ELEX 6361 der Firma Eppendorf (Hamburg, Deutschland).

Für die Untersuchung auf den Kalziumgehalt des Harns wurden die bei -20°C gelagerten tiefgefrorenen Proben herangezogen. Dazu wurden die Proben zunächst aufgetaut. 0,5 ml des Harns wurden in 1 ml Cups pipettiert und in das Photometer eingesetzt. 0,5 ml Lithiumlösung und 0,5 ml Urin-Standard-Stammlösung + Lithiumlösung, ebenfalls in 1 ml Cups pipettiert, wurden als Nullwert- sowie Standardabgleich verwendet. Die Bestimmung erfolgte im Doppelansatz. Aus der Lichtintensität der für jedes Element charakteristisch gefärbten Flamme wurde nun nach Begasung mit Acetylen durch Photometrie die Konzentration an Kalzium in der jeweiligen Probe in mmol Ca / l gemessen.

- **Untersuchung auf Harnsediment**

Die Untersuchung des Harnsediments wurde zum Abschluss der Studie mit den Proben des letzten Sammeldurchgangs durchgeführt. Dafür wurden die Harnproben der Versuchs- und Kontrolltiere jeweils gruppenweise zusammengefasst.

Die Analyse wurde vom Labor der I. Medizinischen Tierklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München durchgeführt.

3.6.2 Futteranalysen

Probenauswahl

Von allen in der Fütterungsstudie verwendeten Futtermitteln wurden repräsentative Proben entnommen. Die Mindesthaltbarkeitsdaten der Futter waren kontrolliert und bei keiner Futterprobe überschritten. Gelagert wurde das Futter bis zur Untersuchung bei Raumtemperatur.

Probenvorbereitung

Die Futterproben wurden zunächst in einem Lyophilisator Typ Gamma 1-20 der Firma Christ (Osterode, Deutschland) getrocknet. Zu diesem Zweck wurden die Proben in Aluminiumschalen eingewogen und das genaue Gewicht notiert.

Daraufhin wurden die Futterproben erst bei -20°C tiefgefroren und dann im Lyophilisator getrocknet. Dabei wurde der Wassergehalt in den Proben direkt vom gefrorenen in einen gasförmigen Zustand überführt und mittels Unterdruck aus dem Probenmaterial entfernt. Anhand des Probengewichts vor und nach dem Lyophilisieren konnte der Trockensubstanzgehalt der Feuchtfutterproben nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$\text{TS (\% uS)} = \left(\frac{\text{Probengewicht nach Trocknung}}{\text{Probengewicht vor Trocknung}} \right) \times 100$$

Das getrocknete Futter wurde daraufhin auf eine Partikelgröße von 0,5 mm vermahlen.

3.6.2.1 Bestimmung des Roh Nährstoffgehalts

Zur Kontrolle des Roh Nährstoffgehaltes wurde von jedem in der Fütterungsstudie eingesetzten Futter eine Weender Analyse durchgeführt. Jede Analyse wurde im Doppelansatz bestimmt. Hierfür wurden getrocknete und homogenisierte Futterproben verwendet. Die verschiedenen Feuchtfuttermittel wurden dafür, wie bereits beschrieben, vorbereitet.

- **Bestimmung der Trockensubstanz (TS)**

Die Trockensubstanz der verschiedenen Futter wurde durch Trocknung in dem Trockenschrank Typ T12 Function Line der Firma Heraeus (Hanau, Deutschland) bis zur Gewichtskonstanz analysiert.

Von jeder Probe wurde eine definierte Menge in einen Porzellantiegel eingewogen. Diese wurden dann für mindestens vier Stunden bei 103°C in einen Trockenschrank verbracht, bis ein konstantes Gewicht erreicht war. Dadurch wurde den Proben alles Rohwasser (Reinwasser, flüchtige Fettsäuren und andere flüchtige Stoffe) entzogen. Zum Abkühlen wurden die Tiegel in einen Exsikkator mit Kieselgel gestellt um zu verhindern, dass erneut Feuchtigkeit aus der Luft aufgenommen wird. Durch erneutes Wiegen des Futters und nachfolgende Gleichung wurde der Gehalt an Trockensubstanz in % der ursprünglichen Probensubstanz errechnet:

$$\text{TS (\% uS)} = \left(\frac{\text{Probengewicht nach Trocknung}}{\text{Probengewicht vor Trocknung}} \right) \times 100$$

- **Bestimmung des Rohwassers**

Das Rohwasser umfasst alle bei 103° C flüchtigen Bestandteile. Die Bestimmung des Rohwassers in % der ursprünglichen Substanz erfolgt rein rechnerisch aus folgender Gleichung:

Rohwasser (% uS) = Probengewicht - Trockensubstanz

- **Bestimmung der Rohasche (Ra)**

Die Analyse der Rohaschegehalte der Futtermittel wurde durch die Veraschung in dem Muffelofen Controller P 320 der Firma Nabertherm (Lilienthal, Deutschland) durchgeführt.

Eine festgelegte Menge der Proben wurde in Porzellantiegel eingewogen. Diese wurden sechs Stunden im Muffelofen bei 550° C verascht. Dadurch wurden alle organischen Bestandteile des Futters entfernt, so dass nur Mineralstoffe sowie sonstige anorganische Substanzen erhalten blieben. Zur Abkühlung wurden die Tiegel in einen Exsikkator verbracht und dann erneut gewogen. Der Gehalt an Rohasche in % der Trockensubstanz ließ sich nun anhand folgender Gleichung berechnen:

$Ra (\% TS) =$
 $(\text{Probengewicht nach Veraschung} / \text{Probengewicht vor Veraschung}) \times 100$

- **Bestimmung des Rohfettes (Rfe)**

Die Analyse des Rohfettgehalts in den verschiedenen Futtermitteln wurde durch Extraktion der Proben mit Petroläther im Soxhletapparat nach vorangegangenem Säureaufschluß durchgeführt. Bei dem verwendeten Apparat handelte es sich um den Soxtec Avanti 2050 der Firma FOSS (Höganäs, Schweden).

1-2 g der Proben wurden dazu eingewogen. Nach vorangegangenem Säureaufschluß mittels konzentrierter Salzsäure wurden die Futterproben mit Petroläther bei 135° C extrahiert. Das so gewonnene Ätherextrakt setzte sich aus allen im Futter enthaltenen Neutralfetten, Lipoiden sowie anderen ätherlöslichen Stoffen zusammen. Nach einstündiger Trocknung des Extrakts bei 103° C im Trockenschrank wurde die Probe erneut gewogen.

Der Gehalt der Futter an Rohfett in % der Trockensubstanz wurde nun nach folgender Gleichung berechnet:

$$\text{Rfe (\% TS)} = (\text{Gewicht Extrakt} / \text{Probengewicht vor Extraktion}) \times 100$$

- **Bestimmung des Rohproteins (Rp)**

Die Analyse des Rohproteingehalts der Futterproben wurde mittels Kjeldahlverfahren durchgeführt. Zum Einsatz kam hierbei das automatische Analysegerät, der Kjeltec 2400 der Firma FOSS (Höganäs, Schweden).

Für die Untersuchung wurden 0,5-1 g der Futterproben eingewogen. Diese wurden zunächst mit konzentrierter Schwefelsäure im Digestor gekocht, wodurch der enthaltene Stickstoff durch Oxidation in die Ammoniumform überführt wurde. Beruhend auf dem Kjeldahlverfahren wurde dann durch Zugabe von Natronlauge Ammoniak freigesetzt, in vorgelegte Säure überdestilliert und der Stickstoffgehalt der Proben mittels Titration bestimmt. Der Gehalt der Proben an Rohprotein ergab sich aus der Multiplikation des Stickstoffs mit dem Faktor 6,25, da der mittlere Stickstoffgehalt von Proteinen 16 % beträgt. Neben den Proteinen werden bei diesem Verfahren auch andere stickstoffhaltige Verbindungen nichteiweißartiger Natur erfasst.

- **Bestimmung der Rohfaser (Rfa)**

Die Analyse des Rohfasergehalts fand durch abwechselndes Kochen der Proben in Säure und Lauge im Fibertec-Heißextraktor der Firma FOSS (Höganäs, Schweden) statt.

Zunächst wurde eine Probenmenge von 1 g für 30 Minuten in 1,25 %iger Schwefelsäure gekocht und danach mit heißem Wasser gespült. Anschließend wurden die Proben 30 Minuten in 1,25 %iger Kalilauge gekocht und erneut mit heißem Wasser gespült. Abschließend folgte die Waschung mit Aceton. Der Rückstand wurde im Trockenschrank bei 103° C getrocknet und gewogen. Danach wurde der Gehalt an Rohasche im Rückstand durch Veraschung im Muffelofen und erneutes Wiegen bestimmt. Der Rohfasergehalt der Proben in % der Trockensubstanz ergab sich nun aus folgender Gleichung:

$$\text{Rfa (\% TS)} = ((\text{Gewicht Rückstand} - \text{Gewicht Rohasche}) / \text{Probengewicht}) \times 100$$

- **Bestimmung der stickstofffreien Extraktstoffe (NfE)**

Diese Gruppe von Stoffen wurde rein rechnerisch nach folgender Gleichung bestimmt:

$$\text{NfE (\% TS)} = \text{TS} - (\text{Ra} + \text{Rfe} + \text{Rfa} + \text{Rp})$$

3.6.2.2 Bestimmung des Mineralstoffgehalts

Probenvorbereitung

Zur Durchführung der Mineralstoffanalysen wurden die Futterproben zunächst, wie bereits beschrieben, getrocknet und gemahlen.

Zur Analyse von Chlorid und Schwefel wurden die Proben auf dieser Stufe weiter verarbeitet.

Die Analyse von Natrium, Kalium, Kalzium, Phosphor und Magnesium erforderte die vollständige Überführung in Lösung der derart vorbereiteten Proben. Zu diesem Zweck wurden sie der Veraschung mittels Mikrowellengerät EMLS ETHOS 1600 der Firma MLS Mikrowellen-Labor-Systeme (Leutkirch, Deutschland) unterzogen. Hierzu wurden 0,5 g jeder Probe im Doppelansatz in Quarzgläser eingewogen. Die Probengläser wurden dann in Teflonhülsen eingesetzt und diese in spezielle Keramikmäntel eingeführt. In die Quarzgläser wurden nun 5 ml Salpetersäure, zwischen Glas und Teflonhülse 5 ml destilliertes Wasser sowie 1 ml Wasserstoffperoxid pipettiert. Die fest verschlossenen Probengefäße wurden nun ungefähr zwei Stunden in der Mikrowelle verascht, so dass das Probenmaterial vollständig gelöst wurde. Die entstandene Lösung wurde in Reagenzgläser gefüllt und mit destilliertem Wasser auf 10 ml aufgefüllt, was bei nachfolgenden Berechnungen berücksichtigt wurde.

- **Bestimmung des Natriumgehalts (Na)**

Der Natriumgehalt der Futterproben wurde durch photometrische Messung der Flammenfärbung mit Hilfe des Flammenphotometers ELEX 6361, der Firma Eppendorf (Hamburg, Deutschland), bestimmt.

0,5 ml der Probenlösungen wurden für diese Analyse in 1 ml Cups pipettiert und in das Photometer eingesetzt. 0,5 ml Lithiumlösung und 0,5 ml Urin-Standard-Stammlösung + Lithiumlösung, ebenfalls in 1 ml Cups pipettiert, dienten als

Nullwert- sowie Standardabgleich. Die Bestimmung erfolgte im Doppelansatz. Aus der Lichtintensität der für jedes Element charakteristisch gefärbten Flamme wurde nun nach Begasung mit Acetylen mittels Photometrie die Konzentration an Na in der jeweiligen Probe gemessen. Unter Berücksichtigung des Atomgewichts von Natrium und dem Verdünnungsfaktor ergab sich der Natriumgehalt der jeweiligen Futterprobe pro Kilogramm Trockensubstanz anhand folgender Gleichung:

$$\text{g Na / kg TS} = (\text{Messwert} \times 22,99 \times \text{Verdünnung}) / (\text{Einwaage} \times 1000)$$

- **Bestimmung des Kaliumgehalts (K)**

Die Bestimmung des Kaliumgehalts der Futterproben wurde ebenfalls durch photometrisches Messen der Flammenfärbung mittels Flammenphotometer ELEX 6361 der Firma Eppendorf (Hamburg, Deutschland), durchgeführt.

Der Kaliumgehalt in der Probenlösung wurde analog der bereits beschriebenen Analyse von Natrium bestimmt. Unter Berücksichtigung des Atomgewichts von Kalium und dem Verdünnungsfaktor ergab sich der Kaliumgehalt der jeweiligen Futterprobe pro Kilogramm Trockensubstanz anhand folgender Gleichung:

$$\text{g K / kg TS} = (\text{Messwert} \times 39,1 \times \text{Verdünnung}) / (\text{Einwaage} \times 1000)$$

- **Bestimmung des Kalziumgehalts (Ca)**

Der Kalziumgehalt der verschiedenen Futtermittel wurde ebenfalls mittels photometrischer Messung der Flammenfärbung bestimmt. Als Analysegerät diente das Flammenphotometer ELEX 6361 der Firma Eppendorf (Hamburg, Deutschland).

Die Bestimmung des Kalziumgehalts in der Probenlösung erfolgte analog der Analysen von Natrium und Kalium. Unter Berücksichtigung des Atomgewichts von Kalzium und dem Verdünnungsfaktor ergab sich der Kalziumgehalt der jeweiligen Futterprobe pro Kilogramm Trockensubstanz anhand folgender Gleichung:

$$\text{g Ca / kg TS} = (\text{Messwert} \times 40,08 \times \text{Verdünnung}) / (\text{Einwaage} \times 1000)$$

- **Bestimmung des Phosphorgehalts (P)**

Die Bestimmung des Phosphorgehalts der Futterproben erfolgte mittels photometrischer Messung der Spektralfarben mit Hilfe des Spektralphotometers GENESYS 10 UV Thermo Spectronic von Rochester (New York, USA).

Für diese Analyse wurden 0,05 ml Probenlösung aus der Veraschung mit 1 ml Trichlooessigsäure, 1 ml Molybdatlösung und 1 ml Vanadatlösung versetzt. Die Farbintensität des entstandenen orangegelb gefärbten Komplexes war proportional zu der Konzentration an Phosphor. Nach gründlicher Mischung der Lösungen mussten die Proben 10 Minuten ruhen. Anschließend wurden jeweils im Doppelansatz Messküvetten mit den Probelösungen befüllt. Mit Hilfe des Photometers wurde nun die Extinktion der Proben bei einer Wellenlänge von 366 nm gemessen. Als Blindwert diente ein Lösungsgemisch aus 1 ml Trichlooessigsäure, 1 ml Molybdatlösung und 1 ml Vanadatlösung. Die Berechnung des Phosphorgehalts der Futterproben pro Kilogramm Trockensubstanz unter Einbeziehung des Verdünnungsfaktors und dem Standardfaktor ergab sich aus folgender Gleichung:

$$\text{g P / kg TS} = (\text{Messwert} \times 10,5 \times \text{Verdünnung}) / (\text{Einwaage} \times 100 \times 0,34)$$

- **Bestimmung des Magnesiumgehalts (Mg)**

Die Analyse des Magnesiumgehalts der Futterproben erfolgte durch das Atomabsorptionsspektrometer 939 AAS der Firma Unicam (Kassel, Deutschland).

Die Bestimmung wurde aus Verdünnungen von 1:100 der Probenveraschungslösungen durchgeführt. Das Prinzip der Untersuchung beruht auf der Überführung der in der Lösung enthaltenen Elemente in einen atomaren Zustand. Das wird erreicht, indem feinste Tropfen der zerstäubten Probenlösung in eine Flamme gesaugt werden. Die so entstandenen Atome absorbieren Strahlung bei charakteristischen Wellenlängen. Hohlkathodenlampen des Atomabsorptionsspektrometers führen nun zur Emission von charakteristischen Linienspektren, die das zu bestimmende Element enthalten. Ein Empfängersystem mit Sekundärvervielfacher misst die Extinktion, die der Konzentration des Elements proportional ist.

- **Bestimmung des Chloridgehalts (Cl)**

Der Gehalt der Futterproben an Chlorid wurde durch coulometrische Analyse über die Erzeugung von Silberionen ermittelt. Eingesetzt wurde hierfür das Chloridmeter 6610 der Firma Eppendorf (Hamburg, Deutschland).

Zunächst wurde 1 g der getrockneten und gemahlten Probensubstanz in 10 ml destilliertem Wasser gelöst und für drei Stunden geschüttelt. Anschließend wurde die entstandene Lösung zentrifugiert. 15 ml Essigsäure-Salpetersäure-Lösung und 1 ml Gelatinelösung wurden in ein Titriergefäß gefüllt, in das der Messkopf des Chloridmeters mit ionensensitiven Elektroden abgesenkt wurde. Das Hinzufügen von chloridhaltigem Material in das Titriergefäß führte zur Ausfällung von unlöslichem Silberchlorid. Über einen Rückkopplungsmechanismus, ausgelöst durch das Sinken des Indikatorstroms, der zu der Konzentration an Silberionen in der Elektrolytlösung proportional war, kam es nun so lange zur Freisetzung von Silberionen, bis alle Chloridionen ausgefällt waren und die ursprüngliche Silberionenkonzentration wieder erreicht war. Es wurden jeweils 0.05 ml des Überstands der zentrifugierten Probenlösungen zur Messung herangezogen. Der Chloridgehalt der Futterproben pro Kilogramm Trockensubstanz errechnete sich unter Berücksichtigung des Atomgewichts von Chlor sowie dem Verdünnungsfaktor anhand folgender Gleichung:

$$\text{g Cl / kg TS} = (\text{Messwert} \times 35,453 \times \text{Verdünnung}) / (\text{Einwaage} \times 1000)$$

- **Bestimmung des Schwefelgehalts (S)**

Die Analyse des Schwefelgehalts im Futter erfolgte durch Ausfällung der Sulfate in Form von Bariumsulfat. Vorher wurden die Proben mittels Magnesiumnitrat oxidiert, zur Veraschung gebracht und in Salzsäure gelöst.

2 g der gemahlten Probensubstanz wurden in Porzellantiegel eingewogen, mit Magnesiumnitratlösung versetzt und im Wasserbad zur Trocknung eingedampft. Die Probengefäße wurden nun in einen Trockenschrank gebracht, dessen Temperatur im Verlauf von ungefähr fünf Tagen langsam bis auf 180° C erhöht wurde. Darauf folgte die Veraschung der Proben im Muffelofen bei 450° C bis 500° C nach schrittweiser Temperatursteigerung, für zwei bis drei Stunden. Das Veraschungsprodukt wurde dann in Salzsäure und destilliertem Wasser im Wasserbad gelöst, in ein Becherglas filtriert und mit destilliertem Wasser auf ungefähr 200ml aufgefüllt. Nach Erhitzen bis zum Siedepunkt wurde die Probenlösung mit heißer Bariumchloridlösung versetzt und für ungefähr zwölf Stunden ins Wasserbad gestellt. Das ausgefällte Bariumsulfat wurde durch

Abfiltrieren des Überstands in einem Filter gesammelt. Das Filter mit Inhalt wurde in Porzellantiegel gebracht und ungefähr zwanzig Minuten bei 650° C nach langsamer Temperatursteigerung, um ein Verbrennen der Filter zu vermeiden, im Muffelofen verascht. Nach Abkühlen der Tiegel im Exsikkator wurde das Veraschungsprodukt in Form von Bariumsulfat ausgewogen. Unter Berücksichtigung der Atomgewichte errechnete sich der Schwefelgehalt der Futterproben pro Kilogramm Trockensubstanz anhand folgender Gleichung:

$$\text{g S g/kg TS} = (\text{Auswaage} \times 0,1374 \times 1000) / \text{Einwaage}$$

3.6.2.3 Berechnung der Kationen-Anionen-Bilanz

Die Kationen-Anionen-Bilanz im Futter wurde anhand folgender Formel (nach Krohn, 1993) berechnet, wobei die Mineralstoffgehalte in g/100 g Trockensubstanz in die Formel eingesetzt wurden:

$$\begin{aligned} \text{Kationen-Anionen-Bilanz [mmol/kg TS]} = \\ 49,9 * \text{Ca} + 82,3 * \text{Mg} + 43,5 * \text{Na} + 25,6 * \text{K} - 64,6 * \text{P} - 86,8 * \text{S} - 28,2 * \text{Cl} \end{aligned}$$

Mit Hilfe des Ergebnisses der Kationen-Anionen-Bilanz für das jeweilig zu untersuchende Futtermittel konnte der bei Verfütterung dieses Futters zu erwartende pH-Wert des Harns mittels folgender Formel (nach Schuknecht, 1991) errechnet werden:

$$\text{pH-Wert} = (\text{KAB} * 0,0021) + 6,72$$

3.7 Statistische Methoden

Folgende Methoden wurden verwendet:

- Berechnung des arithmetischen Mittelwerts (\bar{x}) bei der Zusammenfassung mehrerer Einzelwerte
- Berechnung der Standardabweichung (s) als Maß für die Streuung. Die Darstellung in den Tabellen erfolgt als Mittelwert \pm Standardabweichung.
- LS-Means Test zum paarweisen Vergleich der Gruppen, um signifikante Differenzen zwischen den einzelnen Gruppen zu erfassen. Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit dem Computerprogramm SAS. Soweit nicht anders vermerkt, wurden signifikant

unterschiedliche Mittelwerte mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit (p) von $p < 0,05$ mit * und hochsignifikant unterschiedliche Mittelwerte mit $p < 0,01$ mit ** gekennzeichnet.

4 Ergebnisse

4.1 Allgemeine Beobachtungen

4.1.1 Allgemeinbefinden der Versuchskatzen

Das Allgemeinbefinden von 12 der 14 Katzen war zu Beginn der Fütterungsstudie sowie im gesamten Versuchszeitraum ungestört. Der Gesundheitszustand der Tiere wurde durch regelmäßig durchgeführte klinische Untersuchungen sowie der Erhebung relevanter Blutparameter überprüft.

Eine der in der Fütterungsstudie eingesetzten Versuchskatzen (männlich, 2 Jahre, Versuchsgruppe) zeigte vor Versuchsbeginn und über die Dauer des Versuchs hinweg Epiphora am rechten Auge. Aufgrund dessen wurde sie während der Studie mit antibiotikahaltigen Augentropfen behandelt.

Eine Katze (weiblich, 6 Jahre, Kontrollgruppe) litt vor und während des Versuchs unter einer Verhaltensstörung, die sich in übertriebenem Putzen äußerte, was zu Haarverlust und leichter Dermatitis führte. Aus diesem Grund wurde das Tier vorzeitig, vor der letzten Versuchsphase, aus dem Versuch genommen und in private Hände abgegeben.

Bei der Futteraufnahme der Tiere traten trotz Schwankungen in der Akzeptanz der unterschiedlichen Futter durch die einzelnen Katzen keine Probleme auf. Von allen Versuchstieren wurde, soweit zu beurteilen, regelmäßig Urin abgesetzt. Der Kot der Tiere war, abgesehen von vereinzelt auftretenden Durchfällen, die durch die Futterumstellung verschiedener Versuchsphasen bedingt waren, physiologisch.

Tabelle 6 und **7** gibt die Ergebnisse der untersuchten Blutparameter der 14 Katzen vor Beginn sowie bei Beendigung der Fütterungsstudie wieder, getrennt nach Versuchs- und Kontrollgruppe.

Tabelle 6: Ergebnisse der Blutuntersuchungen aus Vollblut und Blutserum der Katzen der Versuchsgruppe zu Beginn sowie bei Beendigung der Studie (MCV = mittleres korpuskuläres Volumen des Einzelerthrozyten, MCH = mittlerer Hämoglobingehalt des Einzelerthrozyten, MCHC = mittlere Hämoglobinkonzentration der Erythrozyten, AST = Aspartat-Amino-Transferase, ALT = Alanin-Amino-Transferase, ALP = Alkalische Phosphatase)

Blutbild vor Versuchsbeginn								
Versuchsgruppe								
Katze		1	2	3	4	5	6	7
Leukozyten	10e9/l	8,81	°	°	°	°	°	6,54
Neutrophile Granulozyten	%	34,3	78	48	72	63	27	56,6
Lymphozyten	%	45,6	21	48	18	33	63	30,2
Monozyten	%	3,85	1	2	5	4	5	8,85
Eosinophile Granulozyten	%	15,6	°	2	4	°	5	3,86
Basophile Granulozyten	%	0,685	°	°	°	°	°	0,562
Erythrozyten	10e12/l	9,71	11,1	9,96	9,96	9,67	14,2	10,3
Hämoglobin	mmol/l	8,74	9,74	8,45	9,05	8,79	12,4	8,51
Hämatokrit	l/l	0,427	0,469	0,430	0,444	0,422	0,611	0,431
MCV	fl	43,9	42,2	43,2	44,6	43,6	43,0	42,0
MCH	fmol	0,900	0,876	0,848	0,909	0,909	0,872	0,830
MCHC	mmol/l	20,5	20,8	19,6	20,4	20,8	20,3	19,7
AST	IU/l	24	33	20	28	28	30	28
ALT	IU/l	49	88	32	53	57	52	56
ALP	IU/l	30	24	15	76	39	38	24
Gesamtbilirubin	µmol/l	1,2	1,9	2,1	1,4	1,8	1,6	1,1
Harnstoff	mmol/l	8,01	10,64	7,50	7,58	7,61	6,09	9,05
Kreatinin	µmol/l	131	117	98	107	98	116	169
Glukose	mmol/l	4,56	4,51	4,56	3,85	3,70	4,56	4,23

°: Zu diesem Parameter liegt kein Wert vor.

Fortsetzung Tabelle 6:

Blutbild nach Beendigung des Versuchs								
Versuchsgruppe								
Katze		1	2	3	4	5	6	7
Leukozyten	10e9/l	5,38	5,51	5,92	13,00	2,50	5,06	3,91
Neutrophile Granulozyten	%	35,7	61,8	58,7	51,1	58,8	34,5	64,5
Lymphozyten	%	32,5	33,8	32,2	39,7	28,1	51,1	15,5
Monozyten	%	4,58	1,40	6,04	4,81	8,62	4,65	13,20
Eosinophile Granulozyten	%	27,0	2,89	2,86	4,13	4,47	9,46	6,46
Basophile Granulozyten	%	0,183	0,088	0,245	0,267	0,039	0,285	0,404
Erythrozyten	10e12/l	16,6	12,1	14,3	11,9	8,29	15,6	10,9
Hämoglobin	mmol/l	15,4	10,7	12,3	10,3	7,66	14,8	9,9
Hämatokrit	l/l	0,742	0,525	0,593	0,524	0,374	0,705	0,503
MCV	fl	44,8	43,6	41,6	44,1	45,1	45,3	46,2
MCH	fmol	0,929	0,890	0,864	0,869	0,924	0,950	0,909
MCHC	mmol/l	20,8	20,4	20,8	19,7	20,5	21,0	19,7
AST	IU/l	16	21	15	20	18	26	14
ALT	IU/l	39	46	41	51	43	51	39
ALP	IU/l	30	25	25	43	25	37	23
Gesamtbilirubin	µmol/l	2,7	1,1	1,2	1,5	2,4	0,4	1,9
Harnstoff	mmol/l	9,82	10,25	8,86	12,24	10,37	9,03	10,23
Kreatinin	µmol/l	118	149	122	123	113	99	150
Glukose	mmol/l	4,79	7,14	4,39	5,22	4,66	4,49	4,23

Tabelle 7: Ergebnisse der Blutuntersuchungen aus Vollblut und Blutserum der Katzen der Kontrollgruppe zu Beginn sowie bei Beendigung der Studie (MCV = mittleres korpuskuläres Volumen des Einzelerthrozyten, MCH = mittlerer Hämoglobingehalt des Einzelerthrozyten, MCHC = mittlere Hämoglobinkonzentration der Erythrozyten, AST = Aspartat-Amino-Transferase, ALT = Alanin-Amino-Transferase, ALP = Alkalische Phosphatase)

Blutbild vor Versuchsbeginn								
Kontrollgruppe								
Katze		8	9	10	11	12	13	14
Leukozyten	10e9/l	°	°	9,72	°	°	°	°
Neutrophile Granulozyten	%	40	61	49,7	47	52	51	56
Lymphozyten	%	54	30	32,0	42	34	33	36
Monozyten	%	1	2	8,39	2	5	5	1
Eosinophile Granulozyten	%	5	6	9,86	11	9	11	7
Basophile Granulozyten	%	°	1	0,145	°	°	°	°
Erythrozyten	10e12/l	14,0	8,44	8,52	13,2	9,04	8,98	9,18
Hämoglobin	mmol/l	12,6	7,82	7,91	12,1	8,13	8,23	8,55
Hämatokrit	l/l	0,602	0,382	0,389	0,573	0,392	0,389	0,409
MCV	fl	43,0	45,3	45,7	43,4	43,3	43,3	44,6
MCH	fmol	0,903	0,927	0,928	0,918	0,899	0,916	0,931
MCHC	mmol/l	21,0	20,5	20,3	21,1	20,8	21,1	20,9
AST	IU/l	25	33	26	35	31	49	34
ALT	IU/l	37	65	35	60	44	61	65
ALP	IU/l	46	25	20	44	44	72	38
Gesamtbilirubin	µmol/l	1,1	2,1	2,4	1,3	2,6	1,8	2,0
Harnstoff	mmol/l	7,68	10,94	8,61	8,17	8,98	9,06	8,45
Kreatinin	µmol/l	126	144	110	125	119	124	109
Glukose	mmol/l	3,68	3,40	3,91	7,71	3,93	4,12	5,27

°: Zu diesem Parameter liegt kein Wert vor.

Fortsetzung Tabelle 7:

Blutbild nach Beendigung des Versuchs								
Kontrollgruppe								
Katze		8	9	10	11	12	13	14
Leukozyten	10e9/l	1,46	5,68	0,02	4,34	5,02	7,01	°
Neutrophile Granulozyten	%	68,9	45,0	45,0	42,6	37,9	41,6	
Lymphozyten	%	18,3	43,4	15,0	46,6	42,2	47,3	
Monozyten	%	8,04	4,98	5,00	3,37	5,20	3,57	
Eosinophile Granulozyten	%	4,53	6,48	35,00	7,27	14,70	7,49	
Basophile Granulozyten	%	0,255	0,147	0,000	0,189	0,067	0,025	
Erythrozyten	10e12/l	15,4	16,7	19,7	16,0	17,5	12,9	
Hämoglobin	mmol/l	14,7	15,5	7,31	15,2	15,4	11,7	
Hämatokrit	l/l	0,703	0,751	0,819	0,688	0,716	0,546	
MCV	fl	45,5	45,1	41,7	42,9	40,9	42,3	
MCH	fmol	0,953	0,930	0,372	0,945	0,882	0,905	
MCHC	mmol/l	20,9	20,6	8,92	22,0	21,6	21,4	
AST	IU/l	42	18	16	22	30	30	
ALT	IU/l	80	66	36	51	39	46	
ALP	IU/l	44	31	39	40	53	54	
Gesamtbilirubin	µmol/l	0,9	1,6	1,1	1,1	1,5	1,6	
Harnstoff	mmol/l	8,18	10,58	11,02	8,33	8,36	10,50	
Kreatinin	µmol/l	102	133	112	111	123	125	
Glukose	mmol/l	3,24	4,67	5,54	5,65	5,69	4,89	

°: Katze Nummer 14 war zu diesem Zeitpunkt nicht mehr in die Studie involviert.

In **Tabelle 8** und **9** sind die durchschnittlichen Ergebnisse der Blutuntersuchungen zu Beginn der Studie sowie nach Beendigung derselben, zusammengefasst nach Versuchs- und Kontrollgruppe, dargestellt. Die deutlichsten Abweichungen von den für Katzen gültigen Referenzbereichen sind bei den erhöhten Werten des Hämatokrits zu sehen. Das betrifft sowohl die Werte der Versuchs- als auch der Kontrollgruppe jeweils zu Beginn und nach Beendigung der Studie. Außerdem besteht ein hochsignifikanter Aktivitätsunterschied der Aspartat-Amino-Transferase zwischen Versuchsbeginn und Versuchsende der Versuchsgruppe. Beide Werte befinden sich aber im Referenzbereich. Abgesehen davon gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Blutparametern beider Zeitpunkte.

Tabelle 8: Durchschnittliche Blutwerte der Katzen der Versuchsgruppe aus Vollblut und Blutserum zu Beginn sowie bei Beendigung der Studie (MCV = mittleres korpuskuläres Volumen des Einzelerythrozyten, MCH = mittlerer Hämoglobingehalt des Einzelerythrozyten, MCHC = mittlere Hämoglobinkonzentration der Erythrozyten, AST = Aspartat-Amino-Transferase, ALT = Alanin-Amino-Transferase, ALP = Alkalische Phosphatase)

Durchschnittliche Blutwerte der Versuchsgruppe			
		vor Versuchsbeginn	nach Versuchsende
Leukozyten	10e9/l	7,68 ±1,61	5,90 ±3,34
Neutrophile Granulozyten	%	54,13 ±18,89	52,16 ±12,36
Lymphozyten	%	36,97 ±16,07	33,27 ±10,83
Monozyten	%	4,24 ±2,52	6,19 ±3,76
Eosinophile Granulozyten	%	6,09 ±5,42	8,18 ±8,61
Basophile Granulozyten	%	0,62 ±0,09	0,22 ±0,12
Erythrozyten	10e12/l	10,70 ±1,62	12,81 ±2,88
Hämoglobin	mmol/l	9,38 ±1,40	11,58 ±2,77
Hämatokrit	l/l	0,46 ±0,07	0,57 ±0,13
MCV	fl	43,21 ±0,92	44,39 ±1,49
MCH	fmol	0,88 ±0,03	0,91 ±0,03
MCHC	mmol/l	20,30 ±0,48	20,41 ±0,53

Fortsetzung Tabelle 8:

AST	IU/l	27,29 ±4,19	18,57 ** ±4,16
ALT	IU/l	55,29 ±16,69	44,29 ±5,19
ALP	IU/l	35,14 ±19,89	29,71 ±7,54
Gesamtbilirubin	µmol/l	1,59 ±0,37	1,60 ±0,80
Harnstoff	mmol/l	8,07 ±1,43	10,11 ±1,11
Kreatinin	µmol/l	119,43 ±24,77	124,86 ±18,63
Glukose	mmol/l	4,28 ±0,37	4,99 ±1,00

** (p<0,01) signifikanter Unterschied zwischen den zwei Zeitpunkten

Tabelle 9: Durchschnittliche Blutwerte der Katzen der Kontrollgruppe aus Vollblut und Blutserum zu Beginn sowie bei Beendigung der Studie (MCV = mittleres korpuskuläres Volumen des Einzerythrozyten, MCH = mittlerer Hämoglobingehalt des Einzerythrozyten, MCHC = mittlere Hämoglobinkonzentration der Erythrozyten, AST = Aspartat-Amino-Transferase, ALT = Alanin-Amino-Transferase, ALP = Alkalische Phosphatase)

Durchschnittliche Blutwerte der Kontrollgruppe			
		vor Versuchsbeginn	nach Versuchsende
Leukozyten	10e9/l	9,72 #	3,92 ±2,66
Neutrophile Granulozyten	%	50,96 ±6,64	46,83 ±11,12
Lymphozyten	%	37,29 ±8,30	35,47 ±14,74
Monozyten	%	3,48 ±2,75	5,03 ±1,67
Eosinophile Granulozyten	%	8,41 ±2,43	12,58 ±11,52
Basophile Granulozyten	%	0,57 ±0,60	0,11 ±0,10
Erythrozyten	10e12/l	10,19 ±2,35	16,37 ±2,26
Hämoglobin	mmol/l	9,33 ±2,08	13,30 ±3,26
Hämatokrit	l/l	0,45 ±0,10	0,70 ±0,09
MCV	fl	44,09 ±1,10	43,07 ±1,86
MCH	fmol	0,92 ±0,01	0,83 ±0,23
MCHC	mmol/l	20,81 ±0,31	19,24 ±5,08

Fortsetzung Tabelle 9:

AST	IU/l	33,29 ±7,93	26,33 ±9,67
ALT	IU/l	52,43 ±13,29	53,00 ±16,95
ALP	IU/l	41,29 ±16,88	43,50 ±8,83
Gesamtbilirubin	µmol/l	1,88 ±0,60	1,30 ±0,30
Harnstoff	mmol/l	8,84 ±1,04	9,50 ±1,33
Kreatinin	µmol/l	122,43 ±11,79	117,67 ±11,31
Glukose	mmol/l	4,57 ±1,50	4,95 ±0,94

#: Zu diesem Parameter liegt nur der Wert eines Tieres vor.

4.1.2 Gewichtsentwicklung

In **Tabelle 10** sind das Ausgangsgewicht und die Gewichtsentwicklung der 14 Versuchskatzen während der zwei Vorperioden und der Versuchsphase dargestellt.

Zu Beginn der Fütterungsstudie haben alle Katzen auffallend an Gewicht verloren, was durch die Umstellung von ad libitum Fütterung auf die begrenzte Ration, die begrenzte Fütterungsdauer sowie die unbekanntenen Fütterungsbedingungen zurückzuführen war. Aufgrund dessen wurde in diesem Zeitraum eine engmaschigere Gewichtskontrolle der Katzen durchgeführt. Das Körpergewicht der Tiere sank von durchschnittlichen 4,7 kg auf Werte von 4,0 kg. In der ersten Vorperiode blieb dieses Gewicht bei verabreichter Ration nahezu konstant. In der zweiten Vorperiode sowie während der eigentlichen Versuchsphase kam es zu geringfügigen Gewichtsabnahmen einzelner Tiere. Dabei lag das durchschnittliche Körpergewicht bei 3,8-3,9 kg.

Der Gewichtsverlust im Verlauf der Studie in Bezug zum Ausgangsgewicht ist nicht statistisch signifikant.

Tabelle 10: Einzelgewicht (in kg) und durchschnittliches Gewicht ($\bar{x} \pm s$) der 14 Katzen zu Beginn und während des gesamten Versuchszeitraums (AG = Ausgangsgewicht, VP 1 und 2 = Vorperiode 1 und 2, V = Versuchsphase)

Gewichtsentwicklung im Versuchszeitraum (in kg)						
Katze	AG	VP 1	VP 1	VP 1	VP 2	V
1	6,4	°	5,8	5,6	5,5	5,4
2	4,8	3,6	3,6	3,5	3,4	3,5
3	3,2	°	3	2,9	2,9	2,9
4	4,6	3,5	3,5	3,4	3,4	3,4
5	3,2	2,6	2,5	2,5	2,8	2,7
6	5,5	4,6	4,5	4,4	4,2	4,3
7	5,3	4,8	4,9	4,9	4,8	°
8	6,3	5,7	5,8	5,7	5,5	5,2
9	4,3	3,5	3,5	3,5	3,4	3,4
10	4	3,2	3,2	3,1	3	3
11	4,9	°	4	4	°	3,9
12	4,7	4,3	4,3	4,2	4,2	4,1
13	4,4	3,8	3,8	3,9	4	4
14	4,7	3,9	3,8	3,9	3,7	3,6
x	4,7	4,0	4,0	4,0	3,9	3,8
± s	±0,9	±0,9	±1,0	±0,9	±0,9	±0,8

°: Zu diesem Zeitpunkt wurde von der Katze kein Wert erhoben.

4.1.3 Futterakzeptanz

Um die Menge an aufgenommenem Futter jedes einzelnen Tieres zu kontrollieren, wurden eventuell übriggebliebene Futterreste nach der einstündigen Fütterung rückgewogen. Die Futtermenge, die jedem Tier täglich angeboten wurde, wurde nach dem individuellen Energiebedarf entsprechend Körpergewicht und Bewegungsintensität für jede Katze berechnet und durch regelmäßige Gewichtskontrollen überwacht. So konnte während des gesamten Versuchszeitraums das individuelle Fressverhalten der Tiere kontrolliert und damit Rückschlüsse auf die Akzeptanz der verabreichten Futter gezogen werden.

Tabelle 11 zeigt die durchschnittliche tägliche Futteraufnahme jeder Katze in der jeweiligen Versuchsperiode. Katze Nummer 14 wurde vorzeitig aus dem Versuch genommen. Daher ist im letzten Versuchsdurchgang kein Wert angegeben.

In **Tabelle 12** sind die Futtermengen angegeben, die von der Versuchsgruppe sowie der Kontrollgruppe im Durchschnitt täglich gefressen wurden, ebenfalls aufgeteilt nach den Versuchsphasen.

Es bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen der von der Versuchsgruppe durchschnittlich am Tag gefressenen Futtermenge und der von der Kontrollgruppe aufgenommenen Ration. Auch ist in Zusammenhang mit der steigenden Supplementierung und damit der Ansäuerung des Versuchsfutters keine Veränderung in der Futterakzeptanz der Versuchsgruppe aufgetreten.

Tabelle 11: Durchschnittlich aufgenommene Futtermenge (in g) jeder Katze pro Tag in den unterschiedlichen Versuchsphasen, aufgeteilt nach Versuchs- und Kontrollgruppe

Tägliche durchschnittliche Futtermenge (in g)						
Versuchsgruppe						
Katze	Vorperiode 1	Vorperiode 2	Versuchsphase 1	Versuchsphase 2	Versuchsphase 3	Versuchsphase 4
	Vergleichsfutter	Versuchsfutter	Versuchsfutter 1	Versuchsfutter 2	Versuchsfutter 3	Versuchsfutter 4
		ohne Substitution	-130mg CaCO ₃ +130mg CaCl ₂	-130mg CaCO ₃ +260mg CaCl ₂	-130mg CaCO ₃ +260mg CaCl ₂ +83mg NH ₄ Cl	-130mg CaCO ₃ +260mg CaCl ₂
1	236 ± 8	259 ± 55	256 ± 48	252 ± 41	244 ± 45	265 ± 37
2	174 ± 66	227 ± 10	230 ± 0	230 ± 0	230 ± 0	240 ± 0
3	200 ± 2	190 ± 3	190 ± 0	190 ± 0	190 ± 0	190 ± 1
4	201 ± 46	220 ± 0	220 ± 0	220 ± 0	220 ± 0	219 ± 60
5	165 ± 35	190 ± 0	190 ± 0	190 ± 0	190 ± 0	184 ± 20
6	151 ± 54	217 ± 47	225 ± 70	217 ± 24	222 ± 25	244 ± 8
7	235 ± 30	272 ± 43	230 ± 71	241 ± 51	258 ± 38	245 ± 41

Fortsetzung Tabelle 11:

Tägliche durchschnittliche Futteraufnahme (in g)						
Kontrollgruppe						
Katze Nr.	Vorperiode 1	Vorperiode 2	Versuchs- phase 1	Versuchs- phase 2	Versuchs- phase 3	Versuchs- phase 4
	Vergleichs- futter	Versuchs- futter	Kontrollfutter			
		ohne Substitution	ohne Substitution			
8	239 ± 5	203 ± 84	208 ± 82	225 ± 60	255 ± 65	276 ± 43
9	207 ± 34	230 ± 1	230 ± 0	230 ± 0	211 ± 37	219 ± 4
10	180 ± 39	200 ± 0	200 ± 0	200 ± 0	200 ± 0	199 ± 43
11	237 ± 12	226 ± 46	201 ± 59	214 ± 26	246 ± 14	186 ± 58
12	246 ± 12	244 ± 33	263 ± 12	218 ± 28	179 ± 17	145 ± 38
13	265 ± 32	250 ± 0	250 ± 0	250 ± 0	250 ± 0	260 ± 28
14	185 ± 46	223 ± 38	241 ± 18	228 ± 38	186 ± 28	°

°: Katze Nr.14 war vor Versuchsphase 4 aus dem Versuch genommen worden.

Tabelle 12: Täglich durchschnittlich aufgenommene Futtermenge der Versuchs- und der Kontrollgruppe je Versuchsphase, vergleichend gegenübergestellt

Tägliche durchschnittliche Futteraufnahme der Versuchs- und Kontrollgruppe je Versuchsphase (in g)		
Versuchsphase	Versuchsgruppe	Kontrollgruppe
Vergleichsfutter	194 ±33	223 ±33
Versuchsfutter ohne Substitution	225 ±31	225 ±19
Versuchsfutter 1 -130mg CaCO ₃ +130mg CaCl ₂	220 ±24	228 ±25
Versuchsfutter 2 -130mg CaCO ₃ +260mg CaCl ₂	220 ±24	224 ±15
Versuchsfutter 3 -130mg CaCO ₃ +260mg CaCl ₂ +83mgNH ₄ Cl	222 ±26	218 ±32
Versuchsfutter 4 -130mg CaCO ₃ +260mg CaCl ₂	227 ±30	214 ±49

4.1.4 Wasseraufnahme

Die Katzen hatten während des gesamten Versuchszeitraums freien Zugang zu frischem Trinkwasser. Während des 24stündigen Aufenthalts in den Stoffwechselkäfigen zur Sammlung des abgegebenen Harns stand den Tieren destilliertes Wasser zur Verfügung. Damit sollte eine etwaige Verfälschung der Ergebnisse der Harnanalysen durch die Inhaltsstoffe des Trinkwassers vermieden werden.

Das Trinkverhalten sowie die aufgenommene Menge an Trinkwasser der Versuchskatzen ließ während des gesamten Versuchszeitraums keinerlei Besonderheiten oder Abweichungen von der Norm erkennen. Auch konnten keinerlei Veränderungen diesbezüglich in Zusammenhang mit der unterschiedlichen Zusammensetzung der Versuchsfutter beobachtet werden.

4.2 Futteranalysen

Alle in der Fütterungsstudie verwendeten Futter sind, wie unter 3.6.2 beschrieben, auf ihre Inhaltsstoffe untersucht worden. Das beinhaltet die Analyse des Vergleichsfutters, des Versuchsfutters ohne eigene Substitution, das als Grundlage zur Herstellung der Versuchsfutter diente, sowie die unterschiedlich supplementierten Versuchsfutter der Studie.

Zur Feststellung der Rohnährstoffgehalte wurde eine Weender Analyse durchgeführt. Außerdem sind die Mineralstoffe, die zur Berechnung der Kationen-Anionen-Bilanz herangezogen werden, bestimmt worden. Anhand dieser Berechnung wurde der bei Verfütterung des jeweiligen Futters zu erwartende pH-Wert des Harns eruiert.

4.2.1 Rohnährstoffgehalt

Die folgenden Tabellen zeigen den prozentualen Anteil von Rohprotein, Rohfett, Rohasche, Rohfaser und den stickstofffreien Extraktstoffen an der Trockensubstanz sowie den prozentualen Anteil von Rohprotein, Rohfett, Rohasche, Rohfaser, den stickstofffreien Extraktstoffen, Rohwasser und der Trockensubstanz an der ursprünglichen Substanz aller verwendeten Futter.

Tabelle 13 beinhaltet die Analysenergebnisse der in der Studie eingesetzten kommerziell erhältlichen Feuchtfutter. Dazu gehören das Vergleichsfutter, das Versuchsfutter ohne eigene Substitution sowie das der Kontrollgruppe verabreichte Futter, das mit dem Versuchsfutter ohne eigene Substitution identisch war und aus zwei unterschiedlichen Chargen bestand.

Auffallend ist der außergewöhnlich hohe Gehalt an stickstofffreien Extraktstoffen des Vergleichsfutters, dessen Wert mehr als das Doppelte im Vergleich zu dem anderen kommerziellen Futtermittel ausmacht. Auch der Gehalt an Rohasche ist in diesem Futter gegenüber den Ergebnissen der anderen Futter deutlich erhöht. Dagegen enthalten das unsubstituierte Versuchsfutter sowie die zwei Chargen Kontrollfutter erheblich mehr Protein und Fett.

In **Tabelle 14** sind die Analysenergebnisse der Rohnährstoffgehalte in den vier für die Studie eigens hergestellten Versuchsfutter dargestellt.

Der Gehalt der vier Versuchsfutter an Rohnährstoffen variiert nur unwesentlich mit Ausnahme der geringen Konzentration an stickstofffreien Extraktstoffen in Versuchsfutter 4, das vom Futterhersteller eigens produziert wurde.

Tabelle 13: Rohnährstoffgehalt der verwendeten kommerziellen Feuchtfutter nach institutseigener Weender Analyse (NfE = stickstofffreie Extraktstoffe, TS = Trockensubstanz, uS = ursprüngliche Substanz)

Nährstoff	Vergleichsfutter		Versuchsfutter		Kontrollfutter 1		Kontrollfutter 2	
			ohne Substitution		ohne Substitution		ohne Substitution	
	%TS	%uS	%TS	%uS	%TS	%uS	%TS	%uS
Rohprotein	43,59	8,75	55,35	10,68	57,20	10,84	55,27	10,56
Rohfett	17,44	3,50	24,53	4,73	24,40	4,62	23,85	4,56
Rohasche	12,44	2,50	7,49	1,45	7,88	1,49	8,53	1,63
Rohfaser	Gehalt liegt unter der Nachweisgrenze							
NfE	26,54	5,33	12,63	2,44	10,52	1,99	12,35	2,36
Rohwasser		79,93		80,7		81,05		80,89
TS		20,07		19,30		18,95		19,11

Tabelle 14: Rohnährstoffgehalt der verwendeten Versuchsfutter nach institutseigener Weender Analyse (NfE = stickstofffreie Extraktstoffe, TS = Trockensubstanz, uS = ursprüngliche Substanz)

Nährstoff	Versuchsfutter 1		Versuchsfutter 2		Versuchsfutter 3		Versuchsfutter 4	
	-130mg CaCO ₃ +130mg CaCl ₂		-130mg CaCO ₃ +260mg CaCl ₂		-130mg CaCO ₃ +260mg CaCl ₂ +83mg NH ₄ Cl		-130mg CaCO ₃ +260mg CaCl ₂	
	%TS	%uS	%TS	%uS	%TS	%uS	%TS	%uS
Rohprotein	58,07	11,20	56,79	11,68	58,58	11,93	60,40	11,17
Rohfett	24,38	4,70	23,74	4,88	20,99	4,27	25,59	4,73
Rohasche	7,75	1,50	8,26	1,70	8,15	1,66	8,94	1,65
Rohfaser	Gehalt liegt unter der Nachweisgrenze							
NfE	9,81	1,89	11,21	2,30	12,27	2,50	5,06	0,94
Rohwasser		80,71		79,44		79,64		81,51
TS		19,29		20,56		20,36		18,49

4.2.2 Mineralstoffgehalt

Jedes in der Studie verabreichte Katzenfutter wurde hinsichtlich seines Mineralstoffgehalts untersucht. Die Analyse umfasste alle Mineralstoffe, die zur Erstellung der Kationen-Anionen-Bilanz benötigt wurden. Die folgenden Tabellen beinhalten den Gehalt der Futter an Kalzium, Natrium, Kalium, Magnesium, Phosphor, Chlorid und Schwefel einmal bezogen auf die Trockensubstanz und einmal bezogen auf die ursprüngliche Substanz.

Tabelle 15 zeigt, dass in Gegenüberstellung zu den anderen kommerziellen Futtermitteln das Vergleichsfutter mehr als die doppelte Konzentration an Kalzium enthält. Ebenso verhält es sich mit der Phosphormenge. Das Kalzium-Phosphor-Verhältnis des Vergleichsfutters ist mit 1,4 ebenfalls deutlich höher als in den anderen analysierten Futtermitteln. Weiter ist der Magnesiumgehalt des Vergleichsfutters gegenüber den Werten der anderen Futter leicht erhöht.

Nach **Tabelle 16** ist der Kalziumgehalt in Versuchsfutter 1 gemäß der Substituierung verringert, ebenso in Versuchsfutter 4. In den Versuchsfuttermitteln 2 und 3 hingegen ist der Kalziumgehalt geringgradig erhöht. Das Kalzium-Phosphor-Verhältnis beträgt 0,9 beziehungsweise 0,8 in den Versuchsfuttermitteln 1 und 4 sowie 1,2 und 1,1 in den Versuchsfuttermitteln 2 und 3. Die Chloridkonzentration der Versuchsfutter steigt in Abhängigkeit von der Supplementierung mit Kalziumchlorid und Ammoniumchlorid an. Die ermittelten Kaliumgehalte weisen geringgradige Schwankungen auf. Die Mineralstoffmengen des kommerziell hergestellten Versuchsfutters 4 weichen leicht von denen des eigens produzierten und identisch substituierten Versuchsfutters 2 ab. Der Gehalt der verschiedenen Futter an Schwefel variiert deutlich.

Tabelle 15: Mineralstoffgehalt der verwendeten kommerziellen Feuchtfutter nach institutseigener Analyse (TS = Trockensubstanz, uS = ursprüngliche Substanz)

Mineralstoff	Vergleichs- futter		Versuchs- futter		Kontrollfutter 1		Kontrollfutter 2	
			ohne Substitution		ohne Substitution		ohne Substitution	
	g/kg TS	g/kg uS	g/kg TS	g/kg uS	g/kg TS	g/kg uS	g/kg TS	g/kg uS
Kalzium	29,43	5,91	12,15	2,34	13,31	2,52	14,20	2,71
Natrium	13,25	2,66	11,13	2,15	11,83	2,24	12,24	2,34
Kalium	8,76	1,76	11,25	2,17	10,86	2,06	11,32	2,16
Magnesium	1,11	0,22	0,75	0,14	0,77	0,15	0,77	0,15
Phosphor	21,66	4,35	10,75	2,07	11,13	2,11	11,50	2,20
Chlorid	5,64	1,13	7,26	1,40	7,69	1,46	8,45	1,61
Schwefel	3,96	0,79	2,83	0,55	2,49	0,47	4,79	0,92
Ca/P	1,4		1,1		1,2		1,2	

Tabelle 16: Mineralstoffgehalt der verwendeten Versuchsfutter nach institutseigener Analyse (TS = Trockensubstanz, uS = ursprüngliche Substanz)

Mineralstoff	Versuchs- futter 1		Versuchs- futter 2		Versuchs- futter 3		Versuchs- futter 4	
	-130mg CaCO ₃ +130mg CaCl ₂		-130mg CaCO ₃ +260mg CaCl ₂		-130mg CaCO ₃ +260mg CaCl ₂ +83mgNH ₄ Cl		-130mg CaCO ₃ +260mg CaCl ₂	
	g/kg TS	g/kg uS	g/kg TS	g/kg uS	g/kg TS	g/kg uS	g/kg TS	g/kg uS
Kalzium	9,82	1,89	12,81	2,63	12,10	2,46	10,10	1,87
Natrium	11,41	2,20	11,19	2,30	10,96	2,23	12,15	2,25
Kalium	14,89	2,87	13,84	2,85	13,99	2,85	18,55	3,43
Magnesium	0,72	0,14	0,72	0,15	0,71	0,14	0,76	0,14
Phosphor	11,09	2,14	10,80	2,22	10,78	2,19	12,07	2,23
Chlorid	9,98	1,93	13,20	2,71	15,75	3,21	14,49	2,68
Schwefel	2,99	0,58	4,61	0,95	5,67	1,15	3,52	0,65
Ca/P	0,9		1,2		1,1		0,8	

4.2.3 Kationen-Anionen-Bilanz

Anhand des Gehalts der Futtermittel an Kalzium, Natrium, Kalium, Magnesium, Phosphor, Chlorid und Schwefel wurde die Kationen-Anionen-Bilanz der verwendeten Futter erstellt (**Tabelle 17**). Das errechnete Ergebnis des Vergleichsfutters stellt mit 97,23 mmol/kg TS den deutlich höchsten Wert dar. Mit steigender Supplementierung der Versuchsfutter sinkt die Bilanz, bis bei Zugabe von Ammoniumchlorid mit $-8,83$ mmol/kg TS der niedrigste Wert erreicht ist.

Mittels der Ergebnisse der Kationen-Anionen-Bilanz wurde der pH-Wert des Harns der Versuchstiere errechnet (**Tabelle 18**), der aufgrund der Futterinhaltsstoffe zu erwarten war. Der höchste berechnete Harn-pH-Wert liegt bei 6,92 bei Fütterung des Vergleichsfutters. Der sauerste Harn mit einem pH von 6,70 wird nach Berechnung durch die Aufnahme des Versuchsfutters mit Zusatz von Kalziumchlorid und Ammoniumchlorid erzielt.

Tabelle 17: Die berechneten Ergebnisse der Kationen-Anionen-Bilanz aller verabreichten Futter (in mmol/kg TS)

Kationen-Anionen-Bilanz (in mmol/kg TS)		
Vergleichsfutter		97,23
Versuchsfutter	ohne Substitution	62,81
Kontrollfutter 1	ohne Substitution	67,55
Kontrollfutter 2	ohne Substitution	61,91
Versuchsfutter 1	-130mg CaCO ₃ +130mg CaCl ₂	43,01
Versuchsfutter 2	-130mg CaCO ₃ +260mg CaCl ₂	21,01
Versuchsfutter 3	-130mg CaCO ₃ +260mg CaCl ₂ +83mg NH ₄ Cl	-8,83
Versuchsfutter 4	-130mg CaCO ₃ +260mg CaCl ₂	19,58

Tabelle 18: Errechneter pH-Wert des Harns nach Verabreichung der jeweiligen Futter

Errechneter Harn-pH-Wert		
Vergleichsfutter		6,92
Versuchsfutter	ohne Substitution	6,85
Kontrollfutter 1	ohne Substitution	6,86
Kontrollfutter 2	ohne Substitution	6,85
Versuchsfutter 1	-130mg CaCO ₃ +130mg CaCl ₂	6,81
Versuchsfutter 2	-130mg CaCO ₃ +260mg CaCl ₂	6,76
Versuchsfutter 3	-130mg CaCO ₃ +260mg CaCl ₂ +83mg NH ₄ Cl	6,70
Versuchsfutter 4	-130mg CaCO ₃ +260mg CaCl ₂	6,76

4.3 Harnanalysen

Die Katzen wurden mit Ablauf jeder Versuchsphase für 24 Stunden in Stoffwechsellkäfige eingesetzt. Der in diesem Zeitraum von den Tieren abgesetzte Harn wurde in Behältern mit vorgelegter Konservierungslösung aufgefangen. In regelmäßigen Zeitabschnitten von einer bis maximal vier Stunden wurden die Auffangbecher eingesammelt und der Harn, wie unter 3.6.1 beschrieben, analysiert. Auf diese Weise wurden die genauen Auswirkungen der unterschiedlichen Futter auf den Katzenharn untersucht.

4.3.1 pH-Wert

In den folgenden Tabellen sind die durchschnittlichen pH-Werte des Harns aller Katzen im Verlauf von 24 Stunden aufgezeigt. Sie sind getrennt nach den Versuchsphasen angegeben. Zunächst sind die Werte des Vergleichsfutters den Werten des Versuchsfutters ohne eigene Substitution vergleichend gegenübergestellt, nachfolgend die Werte der Versuchsgruppe denen der Kontrollgruppe.

In **Tabelle 19** ist zu sehen, dass bei Fütterung des Vergleichsfutters fast durchgehend höhere Werte des Harn-pHs erreicht werden als bei Fütterung des Versuchsfutters ohne eigene Substitution. Signifikant ist dieser Unterschied in der zwölften und sechzehnten Stunde nach der Fütterung. Der Maximalwert des Sammeldurchgangs liegt bei dem Versuchsfutter mit 7,81 unter den 7,94 des Vergleichsfutters. Dieser Wert wird in der achten Stunde nach der Fütterung der Tiere und damit deutlich früher als bei dem Vergleichsfutter erreicht.

Tabelle 19: Die durchschnittlichen Harn-pH-Werte im Verlauf von 24 Stunden in Vorperiode 1 und 2 im Vergleich

Mittlere Harn-pH-Werte im Verlauf von 24 Stunden		
Vorperiode 1 und 2		
Zeitintervall	Vergleichsfutter	Versuchsfutter ohne Substitution
Fütterung		
1. Stunde	7,23 #	6,85 #
2. Stunde	7,26 #	6,96 ±0,46
3. Stunde	7,10 ±0,95	7,21 ±0,54
4. Stunde	7,71 ±0,33	7,39 ±0,33
6. Stunde	7,75 ±0,10	7,49 ±0,37
8. Stunde	7,89 ±0,19	7,81 ±0,41
10. Stunde	7,93 ±0,29	7,39 ±0,40
12. Stunde	7,94 ±0,27	7,17* ±0,61
16. Stunde	7,66 ±0,65	6,91* ±0,67
18. Stunde	7,13 ±0,49	6,80 ±0,59
22. Stunde	6,89 ±0,68	6,38 ±0,47
24. Stunde	6,60 ±0,57	6,52 ±0,55

#: Innerhalb dieses Zeitintervalls hatte nur eine Katze Harn abgesetzt.

* ($p < 0,05$) signifikanter Unterschied zwischen den zwei Gruppen

Tabelle 20 zeigt einen rascheren Anstieg des durchschnittlichen Harn-pHs in Versuchsphase 1 bei der Versuchsgruppe, wobei Werte bis zu 7,82 in der dritten Stunde nach der Fütterung erreicht werden. Der Maximalwert der Kontrollgruppe von 8,55 wird in der achten Stunde der Sammlung gemessen. Dabei handelt es sich um einen Einzelwert, da zu dieser Zeit nur ein Tier Harn abgesetzt hatte. Die pH-Werte der Versuchsgruppe liegen nach dem ersten Drittel des Sammeldurchgangs mit einer Ausnahme unter den Werten der Kontrollgruppe, wobei der tiefste Wert 6,07 beträgt. In der zehnten Stunde nach der Fütterung ist diese Differenz hochsignifikant.

Tabelle 20: Die durchschnittlichen Harn-pH-Werte im Verlauf von 24 Stunden in Versuchsphase 1, Versuchs- und Kontrollgruppe im Vergleich

Mittlere Harn-pH-Werte im Verlauf von 24 Stunden		
Versuchsphase 1		
Zeitintervall	Versuchsgruppe -130mg CaCO ₃ +130mg CaCl ₂	Kontrollgruppe
Fütterung		
1. Stunde	°	°
2. Stunde	7,13 ±0,12	°
3. Stunde	7,82 #	7,04 #
4. Stunde	7,77 #	7,05 #
6. Stunde	7,79 ±0,24	7,42 ±0,34
8. Stunde	7,79 ±0,79	8,55 #
10. Stunde	6,63 ±0,53	7,46** ±0,25
12. Stunde	7,44 ±0,14	7,30 ±0,15
16. Stunde	6,54 ±0,38	6,92 ±0,68
18. Stunde	6,15 #	6,41 ±0,24
22. Stunde	6,21 ±0,64	6,24 ±0,24
24. Stunde	6,07 ±0,19	6,28 ±0,36

°: Innerhalb dieses Zeitintervalls hatte keine Katze Harn abgesetzt.

#: Innerhalb dieses Zeitintervalls hatte nur eine Katze Harn abgesetzt.

** (p<0,01) signifikanter Unterschied zwischen den zwei Gruppen

Tabelle 21 zeigt durchgehend niedrigere Harn-pH-Werte der Versuchsgruppe nach Verabreichung des Versuchsfutters mit erhöhter Kalziumchloridzulage im Vergleich zur Kontrollgruppe, mit Ausnahme des letzten gemessenen Werts. In der achtzehnten Stunde des Sammeldurchgangs besteht ein signifikanter, in der zehnten und zwölften Stunde sogar ein hochsignifikanter Unterschied zwischen den Werten der beiden Gruppen. Der niedrigste ermittelte Harn-pH der Versuchsgruppe liegt bei 5,73, der tiefste Wert der Kontrollgruppe bei 6,15. Der Maximalwert der Versuchsgruppe beträgt 7,61 und wird in der sechsten Stunde nach der Fütterung gemessen, wogegen die Kontrollgruppe ihren Maximalwert von 7,78 in der zehnten Stunde nach der Fütterung erreicht.

Tabelle 21: Die durchschnittlichen Harn-pH-Werte im Verlauf von 24 Stunden in Versuchsphase 2, Versuchs- und Kontrollgruppe im Vergleich

Mittlere Harn-pH-Werte im Verlauf von 24 Stunden		
Versuchsphase 2		
Zeitintervall	Versuchsgruppe -130mg CaCO ₃ +260mg CaCl ₂	Kontrollgruppe
Fütterung		
1. Stunde	°	°
2. Stunde	°	°
3. Stunde	°	°
4. Stunde	7,52 #	°
6. Stunde	7,61 ±0,66	7,70 ±0,38
8. Stunde	°	°
10. Stunde	6,76 ±0,29	7,78** ±0,52
12. Stunde	6,90 ±0,84	7,41** ±0,18
16. Stunde	6,41 #	7,09 ±0,63
18. Stunde	5,78 ±0,04	6,21* ±0,70
22. Stunde	5,73 #	6,39 ±0,71
24. Stunde	6,36 ±0,58	6,15 ±0,13

°: Innerhalb dieses Zeitintervalls hatte keine Katze Harn abgesetzt.

#: Innerhalb dieses Zeitintervalls hatte nur eine Katze Harn abgesetzt.

* (p<0,05), ** (p<0,01) signifikanter Unterschied zwischen den zwei Gruppen

Nach zusätzlicher Gabe von Ammoniumchlorid zum Versuchsfutter der Versuchsphase 2 erreicht die Versuchsgruppe in Versuchsphase 3 einen maximalen Harn-pH-Wert von 7,02 in der dritten Stunde nach der Futteraufnahme. Der höchste Wert der Kontrollgruppe beträgt 7,59 und wird in der vierten Stunde nach der Fütterung der Tiere gemessen. Nach mäßigem Absinken des pH-Wertes der Versuchsgruppe kommt es in der sechzehnten Stunde des Sammeldurchgangs zu einem deutlichen Abfall, bis der niedrigste Wert von 5,83 erreicht ist. Der durchschnittliche Harn-pH-Wert der Kontrollgruppe bewegt sich auf einem deutlich höheren Niveau. In der sechsten, zehnten und sechzehnten Stunde der Sammlung besteht eine signifikante Spanne zwischen den Werten der beiden Gruppen. Der niedrigste gemessene pH-Wert der Kontrollgruppe beträgt 6,06 (**Tabelle 22**).

Tabelle 22: Die durchschnittlichen Harn-pH-Werte im Verlauf von 24 Stunden in Versuchsphase 3, Versuchs- und Kontrollgruppe im Vergleich

Mittlere Harn-pH-Werte im Verlauf von 24 Stunden		
Versuchsphase 3		
Zeitintervall	Versuchsgruppe -130mg CaCO ₃ +260mg CaCl ₂ +83mg NH ₄ Cl	Kontrollgruppe
Fütterung		
1. Stunde	°	°
2. Stunde	°	°
3. Stunde	7,02 ±0,23	6,76 #
4. Stunde	°	7,59 #
6. Stunde	6,82 ±0,75	7,58* ±0,28
8. Stunde	°	°
10. Stunde	6,51 ±0,47	7,52* ±0,08
12. Stunde	6,89 ±0,79	7,49 ±0,22
16. Stunde	5,97 ±0,43	6,94* ±0,49
18. Stunde	5,91 #	7,05 #
22. Stunde	6,14 ±0,62	6,06 ±0,26
24. Stunde	5,83 ±0,17	6,06 ±0,33

°: Innerhalb dieses Zeitintervalls hatte keine Katze Harn abgesetzt.

#: Innerhalb dieses Zeitintervalls hatte nur eine Katze Harn abgesetzt.

* (p<0,05) signifikanter Unterschied zwischen den zwei Gruppen

In Versuchsphase 4, dargestellt in **Tabelle 23**, steigen die Harn-pH-Werte der Versuchsgruppe sichtbar schneller nach Gabe des Futters an als die der Kontrollgruppe. So wird bereits in der zweiten Stunde nach der Fütterung ein pH-Wert-Maximum von 7,58 erreicht. Von diesem Punkt an sinkt der Wert kontinuierlich ab, bis in der zweiundzwanzigsten Stunde nach der Nahrungsaufnahme der niedrigste Harn-pH von 5,93 gemessen wird. Dagegen befinden sich die Kontrollgruppenwerte fast durchgehend in einem höheren Bereich, wobei die Differenz der pH-Werte der beiden Gruppen nicht signifikant ist. Der Harn-pH-Wert der Kontrollgruppe steigt im Zickzackverlauf an, wobei der höchste Wert bei 7,87 in der achten Stunde des Sammeldurchgangs liegt. Nach vierundzwanzig Stunden wird der tiefste pH-Wert dieser Gruppe bei 6,26 gemessen.

Tabelle 23: Die durchschnittlichen Harn-pH-Werte im Verlauf von 24 Stunden in Versuchsphase 4, Versuchs- und Kontrollgruppe im Vergleich

Mittlere Harn-pH-Werte im Verlauf von 24 Stunden		
Versuchsphase 4		
Zeitintervall	Versuchsgruppe -130mg CaCO ₃ +260mg CaCl ₂	Kontrollgruppe
Fütterung		
1. Stunde	6,08 #	6,27 ±0,28
2. Stunde	7,58 #	°
3. Stunde	7,50 ±0,18	7,27 ±0,58
4. Stunde	7,37 ±0,20	7,71 #
6. Stunde	7,11 ±0,27	7,00 ±1,35
8. Stunde	7,08 ±0,73	7,87 ±0,08
10. Stunde	6,57 ±0,26	7,08 ±0,35
12. Stunde	6,63 ±0,60	7,34 ±0,25
16. Stunde	6,28 ±0,29	7,01 ±0,57
18. Stunde	°	6,79 #
22. Stunde	5,93 ±0,13	°
24. Stunde	6,12 ±0,21	6,26 ±0,06

°: Innerhalb dieses Zeitintervalls hatte keine Katze Harn abgesetzt.

#: Innerhalb dieses Zeitintervalls hatte nur eine Katze Harn abgesetzt.

In den folgenden Tabellen werden die durchschnittlichen Harn-pH-Werte aller Versuchskatzen wiedergegeben, die innerhalb der 24stündigen Messung ermittelt wurden. Der aus der Fütterung der Katzen mit einem Vergleichsfutter resultierende durchschnittliche Harn-pH-Wert ist dem Ergebnis nach Aufnahme des Versuchsfutters ohne eigene Substitution gegenübergestellt. Ebenso sind die Durchschnitts-pH-Werte der Versuchsgruppe, die in den vier verschiedenen Versuchsphasen ermittelt worden sind, im Vergleich zu den Werten der Kontrollgruppe abgebildet.

Wie **Tabelle 24** zeigt, liegt der durchschnittliche Harn-pH-Wert der Katzen, der aus der Aufnahme des getesteten Vergleichsfutters resultiert, hochsignifikant über dem pH-Wert, der nach Verabreichung des nativen Versuchsfutters gemessen wird.

Tabelle 24: Durchschnittlicher Tages-pH-Wert des Harns aller Versuchskatzen bei Fütterung eines Vergleichsfutters sowie des Versuchsfutters ohne Substitution

Mittlerer Harn-pH-Wert aller Katzen innerhalb von 24 Stunden	
Vorperiode	
Vergleichsfutter	7,47 ±0,64
Versuchsfutter ohne Substitution	7,03 ** ±0,68

** (p<0,01) signifikanter Unterschied zwischen den zwei Futtern

Mit steigender Substitution von Kalziumchlorid zum Versuchsfutter sinkt der durchschnittliche Harn-pH-Wert der Tiere ab. Durch Zulage von Ammoniumchlorid wird der niedrigste Harn-pH-Wert der Versuchsgruppe mit 6,42 erreicht (**Tabelle 25**). Im Gegensatz dazu bewegt sich der Harn-pH bei Verfütterung des Kontrollfutters sowie dem Versuchsfutter ohne eigene Substitution mit geringen Schwankungen in einem Bereich um 7. Ein signifikanter Unterschied liegt zwischen den mittleren pH-Werten beider Gruppen in Versuchsphase 4 vor.

Tabelle 25: Durchschnittlicher Tages-pH-Wert des Harns der Versuchs- und Kontrollgruppe in den Versuchsphasen

Mittlerer Harn-pH-Wert aller Katzen innerhalb von 24 Stunden		
Versuchsphase		
Versuchsgruppe		Kontrollgruppe
Versuchsfutter 1 -130mgCaCO ₃ +130mgCaCl ₂	6,85 ±0,76	6,95 ±0,66
Versuchsfutter 2 -130mgCaCO ₃ +260mgCaCl ₂	6,73 ±0,78	7,01 ±0,77
Versuchsfutter 3 -130mgCaCO ₃ +260mgCaCl ₂ +83mgNH ₄ Cl	6,42 ±0,65	6,97 ±0,68
Versuchsfutter 4 -130mgCaCO ₃ +260mgCaCl ₂	6,67 ±0,60	7,05* ±0,65

* (p<0,05) signifikanter Unterschied zwischen den zwei Gruppen

4.3.2 Harnvolumen

Das von den Versuchskatzen während der 24stündigen Harnsammlung abgegebenen Harnvolumen wurde anhand der Bestimmung des Harngewichts sowie des spezifischen Gewichts des Harns errechnet.

Tabelle 26 und **27** zeigt das Volumen, das von allen Katzen einer Gruppe im Durchschnitt innerhalb von 24 Stunden abgesetzt wurde, in Bezug auf die jeweilige Versuchsperiode. Die Spannweite reicht von 87,67 ml bis hin zu 147,63 ml.

Hierbei stimmt die Menge des abgesetzten Harns bei Fütterung eines Vergleichsfutters fast mit der Menge bei Fütterung des Versuchsfutters ohne Substitution überein. In der Versuchsphase steigt das Volumen im Vergleich zur Vorperiode geringfügig an, bei der Versuchs- und der Kontrollgruppe annähernd gleichermaßen. Eine leichte Volumenerhöhung ist in Versuchsphase 4 zu beobachten, die bei der Versuchsgruppe stärker ausgeprägt ist als bei der Kontrollgruppe.

Tabelle 26: Das durchschnittlich innerhalb von 24 Stunden abgesetzte Harnvolumen nach Fütterung eines Vergleichsfutters im Gegensatz zum unsubstituierten Versuchsfutter

Mittleres Harnvolumen im Verlauf von 24 Stunden (in ml)	
Vorperiode	
Vergleichsfutter	89,77 ±26,76
Versuchsfutter ohne Substitution	87,67 ±39,93

Tabelle 27: Das durchschnittlich innerhalb von 24 Stunden abgesetzte Harnvolumen in den vier Versuchsphasen, Versuchs- und Kontrollgruppe gegenübergestellt

Mittleres Harnvolumen im Verlauf von 24 Stunden (in ml)		
Versuchsphase		
	Versuchsgruppe	Kontrollgruppe
Versuchsfutter 1 -130mgCaCO ₃ +130mgCaCl ₂	119,00 ±29,28	109,71 ±32,76
Versuchsfutter 2 -130mgCaCO ₃ +260mgCaCl ₂	109,49 ±32,70	110,82 ±25,66
Versuchsfutter 3 -130mgCaCO ₃ +260mgCaCl ₂ +83mgNH ₄ Cl	119,17 ±14,59	106,61 ±39,47
Versuchsfutter 4 -130mgCaCO ₃ +260mgCaCl ₂	147,63 ±46,04	122,69 ±56,75

4.3.3 Spezifisches Gewicht

Das spezifische Gewicht ist ein Maß für die Konzentration an gelösten Substanzen im Harn. Bei der Katze können dabei durch die verhältnismäßig große Tubuluslänge der Nieren und damit einer erhöhten Wasserrückresorption relativ hohe Werte erreicht werden. Die Spanne für das physiologische spezifische Harngewicht bei der Katze reicht daher von 1,001 nach Aufnahme großer Wassermengen, bis zu Werten von 1,085.

In **Tabelle 28** ist das spezifische Harngewicht, das nach Verfütterung eines Vergleichsfutters im Verlauf von vierundzwanzig Stunden gemessen wurde, den Werten nach Verfütterung des unveränderten Versuchsfutters gegenübergestellt. Das Gewicht zeigt relativ kurze Zeit nach der Fütterung sowie in der letzten Hälfte der Harnsammlung einen leichten Anstieg bei beiden Futtermitteln gleichermaßen, wobei nach Verfütterung des Vergleichsfutters niedrigere Werte erreicht werden.

Tabelle 28: Das durchschnittliche spezifische Gewicht des Harns im Verlauf von 24 Stunden in Vorperiode 1 und 2 im Vergleich

Mittleres spezifisches Gewicht im Verlauf von 24 Stunden (in g)		
Vorperiode 1 und 2		
Zeitintervall	Vergleichsfutter	Versuchsfutter ohne Substitution
Fütterung		
1. Stunde	1,036 #	1,049 #
2. Stunde	1,058 #	1,052 ±0,01
3. Stunde	1,030 ±0,01	1,036 ±0,01
4. Stunde	1,029 ±0,01	1,052 ±0,03
6. Stunde	1,026 ±0,01	1,034 ±0,01
8. Stunde	1,025 ±0,00	1,038 ±0,01
10. Stunde	1,035 ±0,01	1,037 ±0,01
12. Stunde	1,041 ±0,01	1,046 ±0,02
16. Stunde	1,051 ±0,01	1,045 ±0,01
18. Stunde	1,043 ±0,01	1,049 ±0,01
22. Stunde	1,039 ±0,01	1,043 ±0,01
24. Stunde	1,044 ±0,01	1,046 ±0,01

#: Innerhalb dieses Zeitintervalls hatte nur eine Katze Harn abgesetzt.

Tabelle 29 zeigt mit 1,057 einen auffallend hohen Wert der Versuchsgruppe in der zehnten Stunde nach der Futteraufnahme sowie die generelle Tendenz beider Gruppen zu höheren Werten in der zweiten Hälfte der vierundzwanzig Stunden. Der niedrigste gemessene Wert beträgt 1,026 der Versuchsgruppe zu Beginn der Harnsammlung. Ansonsten verhalten sich die Harngewichte beider Gruppen in Versuchsphase 1 relativ gleichwertig.

Tabelle 29: Das durchschnittliche spezifische Gewicht des Harns im Verlauf von 24 Stunden in Versuchsphase 1, Versuchs- und Kontrollgruppe im Vergleich

Mittleres spezifisches Gewicht im Verlauf von 24 Stunden (in g)		
Versuchsphase 1		
Zeitintervall	Versuchsgruppe -130mg CaCO₃+130mg CaCl₂	Kontrollgruppe
Fütterung		
1. Stunde	°	°
2. Stunde	1,026 ±0,01	°
3. Stunde	1,028 #	1,044 #
4. Stunde	1,024 #	1,028 #
6. Stunde	1,037 ±0,01	1,036 ±0,00
8. Stunde	1,045 ±0,01	1,040 #
10. Stunde	1,057 ±0,03	1,038 ±0,01
12. Stunde	1,034 ±0,00	1,042 ±0,00
16. Stunde	1,045 ±0,00	1,044 ±0,01
18. Stunde	1,046 #	1,049 ±0,00
22. Stunde	1,036 ±0,00	1,045 ±0,01
24. Stunde	1,042 ±0,01	1,048 ±0,02

°: Innerhalb dieses Zeitintervalls hatte keine Katze Harn abgesetzt.

#: Innerhalb dieses Zeitintervalls hatte nur eine Katze Harn abgesetzt.

Trotz steigender Substitution des Versuchsfutters weist **Tabelle 30** keine auffallenden Unterschiede im Harngewicht zwischen Kontroll- und Versuchsgruppe auf. Die Werte bewegen sich lange Zeit nach der Nahrungsaufnahme auf verhältnismäßig niedrigem Niveau. Erst in der sechzehnten Stunde bei der Kontrollgruppe und der zweiundzwanzigsten Stunde bei der Versuchsgruppe ist ein geringfügiger Anstieg des Harngewichts festzustellen, wobei der Maximalwert bei 1,051 liegt.

Tabelle 30: Das durchschnittliche spezifische Gewicht des Harns im Verlauf von 24 Stunden in Versuchsphase 2, Versuchs- und Kontrollgruppe im Vergleich

Mittleres spezifisches Gewicht im Verlauf von 24 Stunden (in g)		
Versuchsphase 2		
Zeitintervall	Versuchsgruppe -130mg CaCO₃+260mg CaCl₂	Kontrollgruppe
Fütterung		
1. Stunde	°	°
2. Stunde	°	°
3. Stunde	°	°
4. Stunde	1,031 #	°
6. Stunde	1,037 ±0,01	1,030 ±0,00
8. Stunde	°	°
10. Stunde	1,029 ±0,00	1,030 ±0,00
12. Stunde	1,034 ±0,01	1,036 ±0,00
16. Stunde	1,023 #	1,040 ±0,00
18. Stunde	1,029 ±0,01	1,035 ±0,00
22. Stunde	1,050 #	1,040 ±0,01
24. Stunde	1,040 ±0,00	1,051 ±0,01

°: Innerhalb dieses Zeitintervalls hatte keine Katze Harn abgesetzt.

#: Innerhalb dieses Zeitintervalls hatte nur eine Katze Harn abgesetzt.

Das durchschnittliche spezifische Gewicht des Harns der Versuchsgruppe in Versuchsphase 3 liegt nach **Tabelle 31** fast durchgehend geringfügig unter dem der Kontrollgruppe. Der höchste Wert der Versuchsgruppe wird dabei erst nach vierundzwanzig Stunden mit 1,045 erreicht. Bei keiner der beiden Gruppe ist ein Anstieg des gemessenen Gewichts in Abhängigkeit von der Fütterung feststellbar.

Tabelle 31: Das durchschnittliche spezifische Gewicht des Harns im Verlauf von 24 Stunden in Versuchsphase 3, Versuchs- und Kontrollgruppe im Vergleich

Mittleres spezifisches Gewicht im Verlauf von 24 Stunden (in g)		
Versuchsphase 3		
Zeitintervall	Versuchsgruppe -130mg CaCO ₃ +260mg CaCl ₂ +83mg NH ₄ Cl	Kontrollgruppe
Fütterung		
1. Stunde	°	°
2. Stunde	°	°
3. Stunde	1,037 ±0,01	1,046 #
4. Stunde	°	1,036 #
6. Stunde	1,038 ±0,01	1,035 ±0,02
8. Stunde	°	°
10. Stunde	1,033 ±0,00	1,046 ±0,01
12. Stunde	1,039 ±0,01	1,040 ±0,02
16. Stunde	1,034 ±0,00	1,048 ±0,01
18. Stunde	1,025 #	1,046 #
22. Stunde	1,033 ±0,00	1,046 ±0,02
24. Stunde	1,045 ±0,01	1,040 ±0,01

°: Innerhalb dieses Zeitintervalls hatte keine Katze Harn abgesetzt.

#: Innerhalb dieses Zeitintervalls hatte nur eine Katze Harn abgesetzt.

Das Harngewicht in Versuchsphase 4 weist nur geringgradige Schwankungen auf, wie in **Tabelle 32** dargestellt. Dabei bewegen sich vor allem die Werte der Versuchsgruppe nach kurzem Absinken auf ein Gewicht von 1,021 in einem engen Rahmen. Der höchste Wert der Versuchsgruppe liegt bei 1,038 in der sechzehnten Stunde der Harnsammlung. Die Kontrollgruppe erreicht ein Maximalgewicht von 1,050 in der achtzehnten Stunde nach anfänglich relativ niedrigen Werten.

Tabelle 32: Das durchschnittliche spezifische Gewicht des Harns im Verlauf von 24 Stunden in Versuchsphase 4, Versuchs- und Kontrollgruppe im Vergleich

Mittleres spezifisches Gewicht im Verlauf von 24 Stunden (in g)		
Versuchsphase 4		
Zeitintervall	Versuchsgruppe -130mg CaCO₃+260mg CaCl₂	Kontrollgruppe
Fütterung		
1. Stunde	1,030 #	1,030 ±0,00
2. Stunde	1,034 #	°
3. Stunde	1,021 ±0,01	1,028 ±0,00
4. Stunde	1,025 ±0,00	1,024 #
6. Stunde	1,030 ±0,00	1,026 ±0,00
8. Stunde	1,035 ±0,00	1,028 ±0,00
10. Stunde	1,035 ±0,01	1,027 ±0,00
12. Stunde	1,035 ±0,00	1,032 ±0,00
16. Stunde	1,038 ±0,01	1,035 ±0,00
18. Stunde	°	1,050 #
22. Stunde	1,037 ±0,00	°
24. Stunde	1,037 ±0,00	1,043 ±0,01

°: Innerhalb dieses Zeitintervalls hatte keine Katze Harn abgesetzt.

#: Innerhalb dieses Zeitintervalls hatte nur eine Katze Harn abgesetzt.

Das durchschnittliche spezifische Gewicht des Harns nach Ablauf eines Tages, wie in den folgenden Tabellen dargestellt, differiert nur unbedeutend in Bezug auf die unterschiedlichen Futterzusammensetzungen. Die Werte befinden sich alle in einem für Katzen physiologischen Rahmen.

In **Tabelle 33** sind die nach Verfütterung eines Vergleichsfutters sowie des nativen Versuchsfutters gemessenen durchschnittlichen Harngewichte vergleichend gegenübergestellt.

Tabelle 33: Das durchschnittliche spezifische Gewicht des Harns innerhalb von 24 Stunden nach Fütterung eines Vergleichsfutters in Gegenüberstellung zum Versuchsfutter ohne Substitution

Mittleres spezifisches Harngewicht im Verlauf von 24 Stunden (in g)	
Vorperiode	
Vergleichsfutter	1,038 ±0,01
Versuchsfutter ohne Substitution	1,043 ±0,01

Wie **Tabelle 34** zu entnehmen ist, zeigt das durchschnittliche spezifische Gewicht des Harns in Abhängigkeit von der Supplementierung der Versuchsfutter keine Veränderungen. Dabei pendeln die Werte der Versuchsgruppe zwischen 1,033 und 1,040, die der Kontrollgruppe zwischen 1,032 und 1,042.

Tabelle 34: Das durchschnittliche spezifische Gewicht des Harns innerhalb von 24 Stunden in den vier Versuchsphasen, Versuchs- und Kontrollgruppe gegenübergestellt

Mittleres spezifisches Harngewicht im Verlauf von 24 Stunden (in g)		
Versuchsphase		
Versuchsgruppe		Kontrollgruppe
Versuchsfutter 1 -130mgCaCO ₃ +130mgCaCl ₂	1,040 ±0,01	1,042 ±0,01
Versuchsfutter 2 -130mgCaCO ₃ +260mgCaCl ₂	1,034 ±0,01	1,038 ±0,01
Versuchsfutter 3 -130mgCaCO ₃ +260mgCaCl ₂ +83mgNH ₄ Cl	1,036 ±0,01	1,042 ±0,01
Versuchsfutter 4 -130mgCaCO ₃ +260mgCaCl ₂	1,033 ±0,01	1,032 ±0,01

4.3.4 Kalziumgehalt

Um die Kalziumausscheidung mit dem Harn der Katzen in Abhängigkeit von einer erhöhten Konzentration an Kalzium in den Versuchsfuttermitteln beziehungsweise der steigenden Ansäuerung zu überprüfen, wurde der Harn der Versuchstiere auf seinen Gehalt an Kalzium untersucht. Dabei sind die Ergebnisse für die unterschiedlichen Futter jeweils zusammengefasst. Der Kalziumgehalt nach Fütterung des Vergleichsfutters ist dem Kalziumgehalt nach Fütterung des nativen Versuchsfutters vergleichend gegenübergestellt. Die Kalziumkonzentrationen des Harns von Versuchs- und Kontrollgruppe sind ebenfalls in Gegenüberstellung dargestellt, aufgeteilt nach den vier Versuchsphasen.

Tabelle 35 zeigt keine signifikante Differenz der Kalziumausscheidung über den Harn zwischen der Fütterung mit dem Vergleichsfutter und dem unveränderten Versuchsfutter.

Tabelle 35: Der durchschnittliche Kalziumgehalt des Harns innerhalb von 24 Stunden nach Fütterung eines Vergleichsfutters in Gegenüberstellung zum Versuchsfutter ohne Substitution

Mittlerer Kalziumgehalt des Harns im Verlauf von 24 Stunden (in mg/l)	
Vorperiode	
Vergleichsfutter	14,0 ±0,0
Versuchsfutter ohne Substitution	15,3 ±0,0

Wie in **Tabelle 36** abgebildet, ist die höchste Konzentration an Kalzium im Harn nach Fütterung des am stärksten angesäuerten Futters der Versuchsphase 3 mit einem Wert von 16,9 mg/l erreicht. Der Anstieg der Kalziumexkretion im Vergleich zur Kontrollgruppe ist dabei nicht signifikant. In Versuchsphase 1 und 2 sinkt beziehungsweise steigt der Kalziumgehalt im Harn mit der aufgenommenen Kalziummenge geringfügig ab beziehungsweise an. In Versuchsphase 1 ist die aufgenommene Kalziummenge gegenüber dem unsubstituierten Versuchsfutter durch den Austausch von Kalziumkarbonat durch Kalziumchlorid reduziert, da in Kalziumkarbonat mehr Kalzium enthalten ist. In Versuchsphase 2 steigt die aufgenommene Kalziummenge durch die Verdoppelung der Kalziumchloridsubstitution. Der mittlere Kalziumgehalt des Harns steigt dabei von 13,7 mg/l in Versuchsphase 1 auf 15,1 mg/l in Versuchsphase 2. Der Wert nach Verfütterung des kommerziell hergestellten Versuchsfutters 4 weicht deutlich von den Werten der anderen Versuchsphasen ab und ist mit 9,8 mg/l erheblich niedriger. Bei der Kontrollgruppe variiert die Kalziumausscheidung über den Harn von 7,8 mg/l bis zu 14,0 mg/l.

Tabelle 36: Der durchschnittliche Kalziumgehalt des Harns innerhalb von 24 Stunden in den vier Versuchsphasen, Versuchs- und Kontrollgruppe vergleichend gegenübergestellt

Mittlerer Kalziumgehalt des Harns im Verlauf von 24 Stunden (in mg/l)		
Versuchsphase		
Versuchsgruppe		Kontrollgruppe
Versuchsfutter 1 -130mgCaCO ₃ +130mgCaCl ₂	13,7 ±0,0	14,0 ±0,0
Versuchsfutter 2 -130mgCaCO ₃ +260mgCaCl ₂	15,1 ±0,0	13,4 ±0,0
Versuchsfutter 3 -130mgCaCO ₃ +260mgCaCl ₂ +83mgNH ₄ Cl	16,9 ±0,0	13,7 ±0,0
Versuchsfutter 4 -130mgCaCO ₃ +260mgCaCl ₂	9,8 ±0,0	7,8 ±0,0

4.3.5 Harnsediment

Mit Beendigung der Studie wurde der Harn der Katzen, der im Rahmen der 24stündigen Harnsammlungen gewonnen wurde, abschließend auf das Sediment untersucht. Die Proben der sieben Versuchskatzen sowie die Proben der Katzen der Kontrollgruppe wurden dabei gruppenweise zusammengefasst.

In **Tabelle 37** sind die Ergebnisse der Harnsedimentuntersuchung dargestellt. Die Befunde wiesen keine unphysiologischen Abweichungen auf. Des weiteren lagen zwischen den Untersuchungsergebnissen der beiden Gruppen keine Differenzen vor.

Tabelle 37: Die Ergebnisse der Sedimentuntersuchung des Harns der Versuchs- und Kontrollgruppe nach 24stündiger Sammlung

Harnsediment		
	Versuchsgruppe	Kontrollgruppe
Erythrozyten	-	-
Leukozyten	0-1	0-1
Plattenepithelien	+	+
Protein	(+)	(+)
Kristalline Substanzen	-	-

5 Diskussion

5.1 Kritik der Methoden

5.1.1 Futterakzeptanz

Das Fressverhalten von Katzen wird durch viele Faktoren beeinflusst. Sie reagieren sehr sensibel auf äußere Einflüsse wie beispielsweise die Temperatur, Lärm oder sonstige Unruhe. Ebenso beeinflusst die Rolligkeit der Kätzinnen deren Nahrungsaufnahme. Aus diesem Grund sind individuelle Schwankungen im Fressverhalten der Tiere nicht allein auf den Geschmack und die Akzeptanz des Futters durch die Tiere zurückzuführen.

Um die Futterakzeptanz der Versuchskatzen beurteilen zu können, wurden die Bedingungen der Fütterung, soweit dies möglich war, standardisiert und mögliche Störfaktoren ausgeschaltet.

Die Fütterung der Tiere fand jeden Tag zur selben Uhrzeit statt und wurde täglich von derselben Person nach demselben Ablauf durchgeführt. Hierfür wurde jede Katze, wenn möglich, in denselben Stoffwechselkäfig wie tags zuvor eingesetzt. So sollte eine Ablenkung der Tiere durch beispielsweise fremde Gerüche auf ein Minimum reduziert werden. Die Fütterung in den Stoffwechselkäfigen war den Versuchskatzen bereits aus vorhergehenden Studien bekannt. Dadurch war die Gewöhnungsphase im Verlauf der ersten Vorperiode in Bezug auf die aufgenommene Futtermenge abgeschlossen.

5.1.2 Futteranalysen

Für die Analyse der in der Studie eingesetzten Katzenfutter wurden repräsentative Futterproben entnommen, um mit der Stichprobenuntersuchung ein für das jeweilige Futter möglichst repräsentatives Ergebnis zu erzielen.

Zur Erstellung der Kationen-Anionen-Bilanz der verabreichten Futter wurde die Formel nach Krohn (1993) eingesetzt. Dabei wurde der tatsächliche Schwefelgehalt der Futter verwendet und nicht durch die schwefelhaltigen Aminosäuren Methionin und Cystein vertreten, was dann zulässig ist, wenn außer diesen beiden Substanzen keine weiteren nennenswerten Schwefelquellen in der Nahrung enthalten sind (Krohn, 1993; Schuknecht, 1991).

Die Berechnung der Kationen-Anionen-Bilanz lässt die unterschiedliche intestinale Absorption der Mengenelemente außer Acht. So hat der Zusatz von

Kalziumchlorid nach Erstellung der KAB rechnerisch keinen Effekt auf den Basenexzess eines Futters. Die trotzdem nachweisbare ansäuernde Wirkung des Kalziumchlorids beruht auf der höheren Absorptionsrate von Chlorid (Kienzle et al., 1993). Außerdem werden bei der Berechnung die verschiedenen Valenzen des Phosphors nicht berücksichtigt (Allen, 1996).

Abgesehen davon werden die Spurenelemente bei der Aufstellung der Kationen-Anionen-Bilanz vernachlässigt. Diese haben ebenfalls Einfluss auf den Säure-Basen-Haushalt des Organismus, werden aber in so geringen Spuren über das Futter aufgenommen, dass ihr Gehalt in der Berechnung des Basenexzesses vernachlässigt werden kann.

5.1.3 Harnanalysen

Der jeweils zum Abschluss einer Versuchsphase während einer 24stündigen Sammlung von den Katzen gewonnene Harn wurde mit Paraffin und Thymol konserviert. Dadurch sollte eine Veränderung der Harnparameter, insbesondere des Harn-pH-Werts, vermieden werden, wobei nach einer Untersuchung von Alban et al. (2003) Zeit und Temperatur der Lagerung keinen signifikanten Einfluss auf den pH-Wert und das spezifische Gewicht von Harnproben bei Hunden und Katzen aufweisen. Auch Kienzle (1989) konnte nach eigenen Studien keinen signifikanten Einfluss auf den pH-Wert des Harns von Katzen durch Luftkontakt feststellen. Zur eigenen Überprüfung der verwendeten Konservierungstechnik wurde zu Beginn der Studie ein Probedurchlauf durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde frischer Harn in einer Paraffin-Thymol-Lösung im Verlauf von 24 Stunden in regelmäßigen Zeitintervallen auf den pH-Wert untersucht. Dabei wurde die Dauer ermittelt, in der es zu keinen nennenswerten Veränderungen des Harn-pHs kam. Es ergaben sich festgelegte Zeitabschnitte, in denen während der Harnsammlungen des Versuchs der von den Katzen abgesetzte Harn eingesammelt und untersucht wurde. Auf diese Weise wurde einer etwaigen Verfälschung der Harnparameter durch äußere Einflüsse entgegengewirkt.

Die Unregelmäßigkeit, mit der die Tiere während der 24stündigen Sammelphase Harn absetzten, führte zu Zeitabschnitten, in denen Proben von keiner oder nur einzelnen Katzen gewonnen werden konnten. Diese Tatsache erschwerte die Auswertung der Ergebnisse. So konnte beispielsweise von einzelnen Katzen nur ein Mal im Verlauf der 24 Stunden Harn gewonnen werden. In einem solchen Fall ließ sich je nach Zeitpunkt des von dem Tier abgesetzten Harns nur schwer eine Aussage über die direkte Abhängigkeit der untersuchten Harnparameter von der Nahrungsaufnahme treffen. Pro Sammeldurchgang konnte aber von jedem Tier mindestens eine Harnprobe genommen werden.

Der Zusammenhang zwischen Futterzusammensetzung und der von den Tieren abgesetzten Harnmenge ist mit Vorsicht zu betrachten, da das Harnvolumen nicht beurteilt werden kann, ohne die äußeren Bedingungen, die für die Katzen bestehen, mit einzubeziehen. So sind Katzen von Natur aus sehr saubere Tiere, die den Ort der Futteraufnahme und den des Harnabsatzes streng trennen. Auch bevorzugen sie zum Urinieren Plätze, die ihnen die Möglichkeit zum Scharren bieten. So konnte während der Studie beobachtet werden, dass einige Tiere versuchten zu vermeiden, in den Stoffwechsellkäfigen Harn abzusetzen. Mit zunehmender Gewöhnung an die Situation stieg das Harnvolumen geringgradig an.

Die gleiche Situation ergab sich bei der Untersuchung der Auswirkung der Futtersupplementierung auf das spezifische Gewicht des Harns der Katzen. Da einige der Tiere in den Stoffwechsellkäfigen lange Zeit keinen Harn absetzten und auch das Trinkverhalten der Katzen durch die ungewöhnlichen Bedingungen negativ beeinflusst wurde, war es nicht möglich, eine rein objektive Beurteilung des spezifischen Gewichts durchzuführen.

5.2 Allgemeinbefinden der Versuchskatzen

Das Allgemeinbefinden der Katzen ließ während des gesamten Versuchszeitraums keinerlei Beeinträchtigungen beobachten. Die zur Ansäuerung der Versuchsfutter verwendeten geringen Konzentrationen an Kalziumchlorid und Ammoniumchlorid und die daraus resultierende behutsame Senkung des Harn-pH-Werts hatten demnach keinen negativen Einfluss auf den Gesundheitszustand der Katzen. Geringe Abweichungen der untersuchten Blutparameter vom Referenzbereich traten sowohl vor als auch nach der Studie sowie bei der Versuchsgruppe und der Kontrollgruppe auf und zeigten keine Abhängigkeit von der Art des verabreichten Futters.

Bei einer Absenkung des Harn-pHs auf einen Wert von unter 6,0 über einen längeren therapeutischen Zeitraum hinweg besteht die Gefahr der Entwicklung einer metabolische Azidose für den Organismus (Pastoor et al., 1994). Die durchschnittlichen pH-Werte dieser Studie unterschritten den Wert von 6,0 im Verlauf von 24 Stunden in Versuchsphase 2, 3 und 4 jeweils nur kurzzeitig und nur in geringem Maße.

5.3 Futterakzeptanz

In der ersten Vorperiode mussten sich die Katzen zunächst auf die ungewohnten Fütterungsbedingungen einstellen. Diese anfängliche Irritation führte zu einer geringgradigen Reduktion der täglichen durchschnittlichen Futteraufnahme in dieser Versuchsphase. In der zweiten Vorperiode hatte sich das Fressverhalten der Tiere bereits normalisiert.

Die Anfütterung eines neuen Versuchsfutters zu Beginn einer Versuchsphase wies jeweils eine geringe Abnahme der Futteraufnahme durch die Versuchsgruppe auf. Die Gewöhnung dauerte aber in der Regel nur ein bis drei Tage. Ansonsten blieb die Futteraufnahme der Versuchsgruppe abgesehen von geringen Schwankungen relativ konstant.

Die steigende Substitution von Kalziumchlorid zum Versuchsfutter hatte demnach keinerlei Auswirkung auf die Akzeptanz des Futters durch die Versuchskatzen. Auch durch die Zulage von Ammoniumchlorid konnte keine Reduktion der Nahrungsaufnahme der Katzen beobachtet werden. Die Futteraufnahme wird also durch die Ansäuerung des Futters mittels Kalziumchlorid in einer Konzentration von 0,26 % (260 mg/100 g Futter) allein oder durch die zusätzliche Substitution von Ammoniumchlorid in einer Konzentration von 0,08 % (83 mg/100 g Futter) nicht negativ beeinflusst.

Katzen akzeptieren Werte der Kationen-Anionen-Bilanz von bis zu -1079 mmol/kg Trockensubstanz Futter, bevor die Futteraufnahme eingestellt wird (Wilms-Eilers, 1992). Der niedrigste KAB-Wert wurde bei Versuchsfutter 3 mit $-8,83$ mmol/kg Trockensubstanz erreicht.

Die durchschnittliche Futteraufnahme der Kontrollgruppe nahm im Verlauf der Studie konstant, aber in geringem Maße, ab. Das ließ sich aber nicht auf die Akzeptanz des Futters durch die Tiere zurückführen, da die Katzen der Kontrollgruppe durchgehend dasselbe Futter zu fressen bekamen.

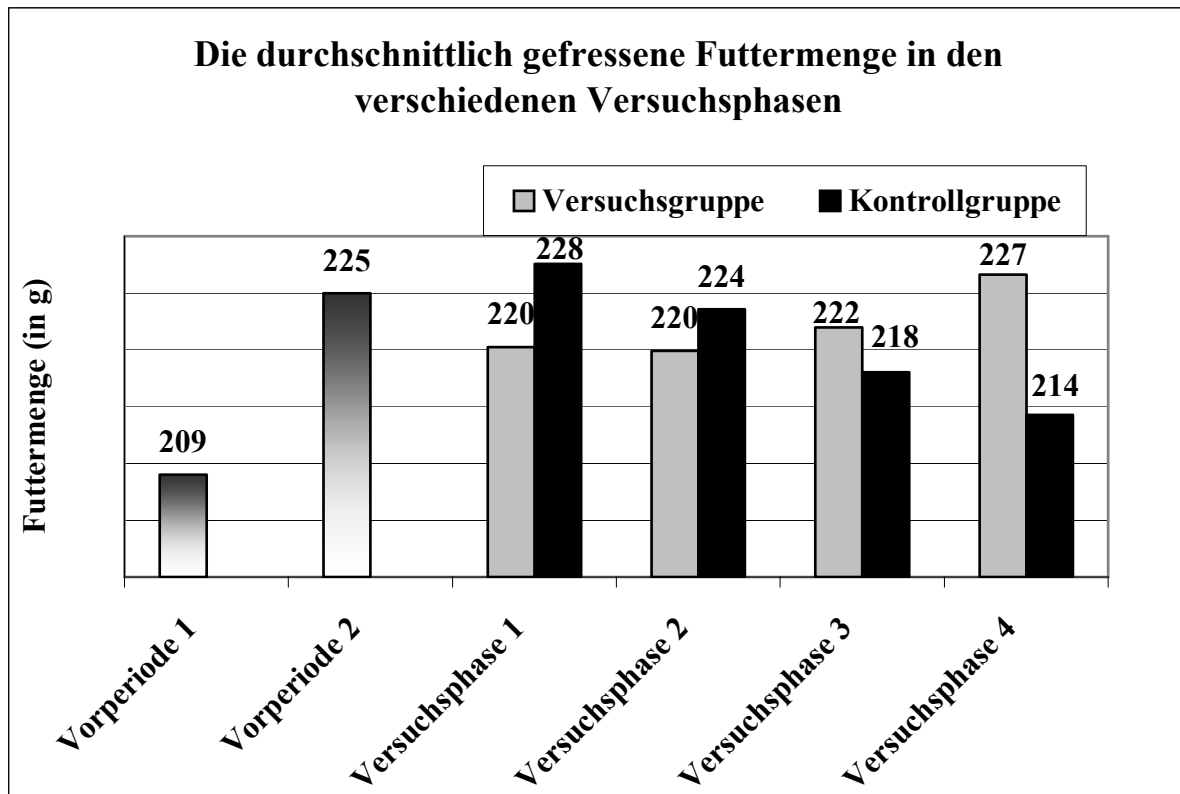


Abbildung 7: Die täglich durchschnittlich gefressene Futtermenge in den verschiedenen Versuchsphasen

5.4 Futteranalysen

- **Rohnährstoffe**

Alle in der Studie verabreichten Futter wurden anhand der Weender Analyse auf ihren Rohnährstoffgehalt untersucht.

Dabei konnten keine wesentlichen Abweichungen am Rohnährstoffgehalt in dem Versuchsfutter ohne Zulagen, den zwei verwendeten Chargen des Kontrollfutters, das dem Versuchsfutter ohne Zulagen entspricht, und den vier Versuchsfuttermitteln beobachtet werden. Das entsprach den Erwartungen, da die Nährstoffe des Versuchsfutters nur in Bezug auf den Mineralstoffgehalt modifiziert wurden.

So bestanden geringe Schwankungen im Rohaschegehalt mit Werten von 7,49 % bis zu 8,94 % der Trockensubstanz, die aber nicht eindeutig proportional der Substitution der Versuchsfutter verliefen. Abgesehen davon enthielt Versuchsfutter 4 erheblich weniger stickstofffreie Extraktstoffe, was eventuell auf der kommerziellen Herstellung beruhte.

Auffallend war, dass in keinem der verabreichten Futter Rohfaser nachgewiesen werden konnte und so die Gehalte unter der möglichen Nachweisgrenze lagen. In der Literatur wird zur Prophylaxe von Struvitsteinen ein Rohfasergehalt von 9 % bis 12 % der Trockensubstanz Futter empfohlen, wobei die Rolle der Faserstoffe in Bezug auf die Entstehung von Struvitsteinen bei Katzen noch nicht geklärt ist (Lekcharoensuk et al., 2001).

Des Weiteren war der Gehalt an Rohprotein in dem nicht substituierten Versuchsfutter, dem Kontrollfutter sowie Versuchsfutter 1 bis 4 mit durchschnittlichen 57,38 % der Trockensubstanz gegenüber dem kommerziellen Vergleichsfutter beachtlich erhöht. Dieser Wert lag auch deutlich über der allgemeinen Empfehlung für ein Futter zur Struvitprophylaxe, die 35 % bis 45 % Rohprotein in der Trockensubstanz für zweckmäßig deklariert. Protein hat einen ansäuernden Effekt auf den Harn-pH-Wert und wirkt somit der Entwicklung einer Struvitrolithiasis entgegen. Daher wird auch der gezielte Einsatz von hochdosiertem Protein in Struvitdiäten praktiziert (Funaba et al., 2003; Skoch et al., 1991). Lekcharoensuk et al. (2001) konnte diesen Effekt in eigenen Untersuchungen jedoch nicht feststellen.

In Bezug auf die Bekämpfung von Struvitsteinen ist der hohe Proteingehalt der eingesetzten Versuchsfutter demnach als positiv zu betrachten. Für andere Steinarten kann die übermäßige Aufnahme von Proteinen beispielsweise durch eine erhöhte Kalziumausscheidung ein Risiko darstellen.

Auch der Fettgehalt des unsubstituierten Versuchsfutters, der Kontrollfutter sowie Versuchsfutter 1 bis 4 lag mit durchschnittlichen 23,92 % der Trockensubstanz deutlich über dem Rohfettgehalt des Vergleichsfutters. Eine Struvitsteindiät sollte nach Literaturangaben einen Fettgehalt von 8 % bis 25 % der Trockensubstanz enthalten, womit sich die Werte der analysierten Futter im Referenzbereich befinden. Ein hoher Fettgehalt im Futter führt durch die hohe Energiedichte zu einer geringeren Futteraufnahme gegenüber einem energieärmeren Futter. Das hat eine moderatere Mineralstoffaufnahme zur Folge und verringert somit die Gefahr einer Übersättigung des Harns mit struvitbildenden Substanzen (Lekcharoensuk et al., 2001). Außerdem stellt Fett die größte metabolische Wassermenge pro Gramm zur Verfügung. So hat ein hoher Fettgehalt durch die Bereitstellung des höchsten Anteils an endogenem Wasser einen positiven Effekt bei der Bekämpfung von Harnsteinen. Bei der Verfütterung eines energiereichen Futters muss darauf geachtet werden, dass die Tiere keine Adipositas entwickeln, da diese, meist in Verbindung mit Bewegungsmangel, einen allgemeinen Risikofaktor bei der Harnsteinentstehung spielt (Allen et al., 2002).

Der Feuchtigkeitsgehalt lag in allen verabreichten Futtermitteln in einem für ein Feuchtfutter zu erwartenden Bereich (Tartelin, 1988).

Weiter fiel auf, dass das kommerzielle Vergleichsfutter einen höheren Rohaschegehalt enthielt. Der Gehalt an stickstofffreien Extraktstoffen des Vergleichsfutters betrug mehr als das Doppelte gegenüber den anderen analysierten Futtermitteln.

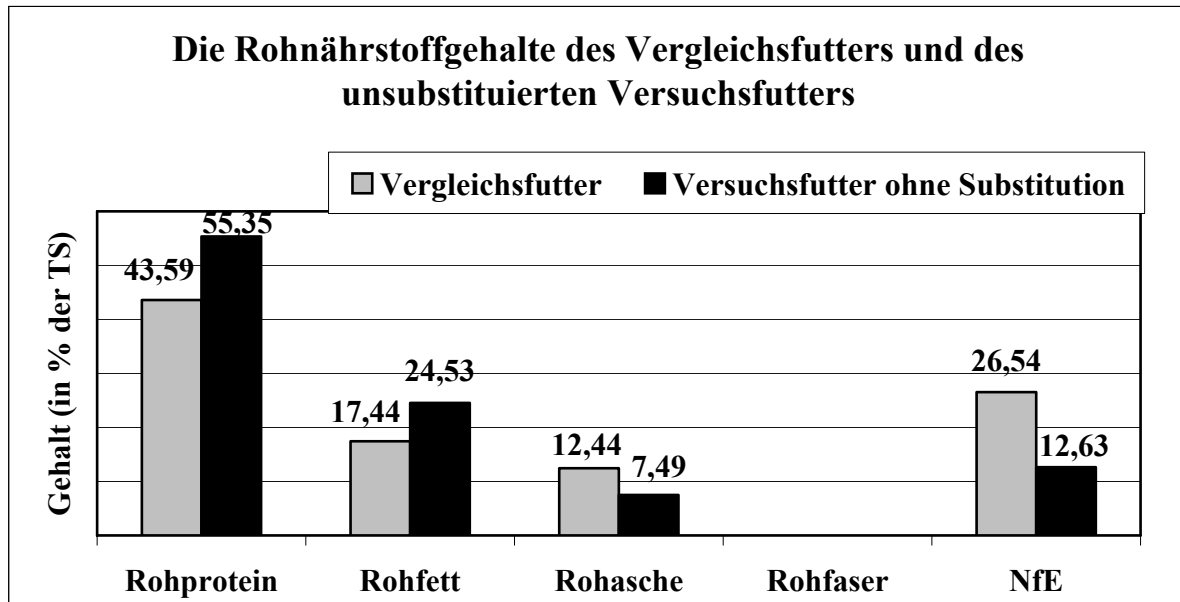


Abbildung 8: Die Rohnährstoffgehalte des Vergleichsfutters und des unsubstituierten Versuchsfutters, das in Vorperiode 1 beziehungsweise in Vorperiode 2 verabreicht wurde, nach eigener Weender Analyse (TS = Trockensubstanz)

- **Mineralstoffe**

Zusätzlich zu den Rohnährstoffgehalten wurden alle verabreichten Futtermittel auf ihren Mineralstoffgehalt untersucht. Die Ergebnisse sind in **Abbildung 9** und **10** dargestellt.

Geringgradige Schwankungen der ermittelten Mineralstoffgehalte kamen, da es sich um relativ geringe Konzentrationen handelt, analysebedingt zustande, wie beispielsweise durch die Probenauswahl. So waren insbesondere bezogen auf den Schwefelgehalt größere Abweichungen der Ergebnisse untereinander zu beobachten. Grund dafür war vermutlich die verhältnismäßig langwierige und komplizierte Untersuchungsmethode.

Abgesehen davon unterschieden sich die ermittelten Mineralstoffgehalte des unsubstituierten Versuchsfutters, der Kontrollfutter sowie der Versuchsfutter 1 bis 4 hinsichtlich des Kalziumgehalts.

Der Kalziumanteil eines kommerziellen Katzenfutters wird dem Futter üblicherweise in Form von Kalziumkarbonat zugeführt. Kalziumkarbonat bewirkt eine Alkalisierung des Harns und stellt daher einen prädisponierenden Faktor für das Struvitkristallwachstum dar (Pastoor et al., 1994; Pastoor et al., 1994; Kienzle et al., 1993). Pastoor et al (1994) beschreibt zusätzlich eine erhöhte Phosphorausscheidung nach der Aufnahme von Kalziumkarbonat anstelle von Kalziumchlorid bei Katzen.

Um Kalziumkarbonat als Risikofaktor einer Struvitsteinerkrankung auszuschalten, wurde in der vorliegenden Fütterungsstudie die Möglichkeit untersucht, Kalziumchlorid als Kalziumträger in Katzenfuttermitteln einzusetzen. Der Kalziumgehalt in Versuchsfutter 1 war mit 9,82 g Kalzium/kg Trockensubstanz etwas niedriger gegenüber den 12,15 g Kalzium/kg Trockensubstanz des unsubstituierten Versuchsfutters sowie den anderen Versuchsfuttermitteln und dem Kontrollfutter. Dieses Ergebnis war zu erwarten, da in Versuchsfutter 1 130 mg Kalziumkarbonat in 100 g Futter durch die gleiche Menge an Kalziumchlorid ersetzt wurden. Da aber der Kalziumanteil in Kalziumchlorid mit 22 % niedriger ist als der Kalziumanteil von 36 % in Kalziumkarbonat, machte das eine Reduktion von 18,2 mg Kalzium/100 g bei einem Austausch von 130 mg/100 g Futter aus. Auch Versuchsfutter 4 wies einen relativ geringen Kalziumgehalt auf, was eventuell auf der kommerziellen Herstellung beruht. Die Kalziummengen in Versuchsfutter 2 und 3 waren erwartungsgemäß höher, da hier 260 mg Kalziumchlorid/100 g Futter zugesetzt wurden und der Kalziumgehalt damit um 28,6 mg/100 g gegenüber Versuchsfutter 1 stieg.

Das Kalzium-Phosphor-Verhältnis von Versuchsfutter 1 und 4 wies mit 0,9 beziehungsweise 0,8 ebenfalls einen geringeren Wert gegenüber den anderen untersuchten Futtermitteln auf. Ein reduzierter Kalzium-Phosphor-Gradient führt über die Ausschüttung von Parathormon zu einer gesteigerten Phosphatexkretion über den Harn und kann auf diese Weise eine Ausfällung von Struvit begünstigen. Das Kalzium-Phosphor-Verhältnis des unsubstituierten Versuchsfutters betrug 1,1, das von Versuchsfutter 2 betrug 1,2 und das von Versuchsfutter 3 betrug 1,1. Damit lagen Versuchsfutter 1 und 4 unter und Versuchsfutter 2 geringgradig über der Empfehlung von Kienzle et al. (1993). Darin wird ein Kalzium-Phosphor-Verhältnis von 1,1 bis 1 als ratsam für eine prophylaktische azidierende Fütterung von Katzen beschrieben.

Die relative Kalziummenge eines Futters ist durch die Interaktion mit Phosphor für das Risiko eines Struvitsteinwachstums von Bedeutung. Außerdem tritt ein hoher Kalziumgehalt im Futter in der Regel in Verbindung mit einem ebenfalls erhöhten Phosphorgehalt auf, um einen adäquaten Kalzium-Phosphor-Gradienten aufrecht zu erhalten. Die dadurch erhöhte Phosphorausscheidung stellt wiederum einen Risikofaktor dar.

Die Analyse des kommerziellen Vergleichsfutters hat mit 29,43 g Kalzium/kg Trockensubstanz einen mehr als doppelt so hohen Kalziumgehalt gegenüber den anderen untersuchten Futtermitteln ergeben. Durch den mit 21,66 g/kg Trockensubstanz ebenfalls fast doppelt so hohen Phosphorgehalt des Vergleichsfutters gegenüber den durchschnittlichen 11,16 g Phosphor/kg Trockensubstanz der anderen analysierten Futter ergab sich ein Kalzium-Phosphor-Verhältnis von 1,4, was deutlich über den Fütterungsempfehlungen liegt. Für die Struvitprophylaxe beziehungsweise Struvittherapie wird ein Phosphorgehalt für Katzenfutter von 5 g/kg Trockensubstanz bis 9 g/kg Trockensubstanz beziehungsweise 5 g/kg Trockensubstanz bis 8 g/kg Trockensubstanz als optimal beschrieben (Allen et al., 2002).

Einen weiteren bedeutenden Wert in der Bekämpfung einer Struviturolithiasis stellt der Magnesiumgehalt des Futters dar. Die Höhe der Magnesiumausscheidung steht in direktem Zusammenhang zu der über die Nahrung aufgenommenen Menge an Magnesium. In kommerziellen Futtermitteln liegt die Dosierung von Magnesium als Inhibitor von Kalziumoxalaten gelegentlich über den empfohlenen Richtwerten (Lekcharoensuk et al., 2001; Buffington et al., 1998). So lag auch in dieser Studie der Magnesiumgehalt des kommerziellen Vergleichsfutters der Vorperiode 1 mit 1,11 g Magnesium/kg Trockensubstanz über den für eine Prophylaxe von Struvitsteinen empfohlenen 0,4 g/kg Trockensubstanz bis 1 g/kg Trockensubstanz und sogar deutlich über der Therapieempfehlung von 0,4 g/kg Trockensubstanz bis 0,6 g/kg Trockensubstanz (Allen et al., 2002). Die Futter der anderen Versuchsphasen lagen mit durchschnittlich 0,74 g Magnesium/kg Trockensubstanz geringfügig über dem für eine Struvittherapie als erstrebenswert erachteten Bereich und im Referenzbereich einer Struvitprophylaxe.

Der ermittelte Chloridgehalt verhielt sich entsprechend der Substitution der Versuchsfutter. Gleiches beschreibt Ching et al. (1989) nach eigenen Untersuchungen. So stieg die Konzentration in Versuchsfutter 1 bei einer Zulage von 130 mg Kalziumchlorid/100 g Futter von 7,26 g Chlorid/kg Trockensubstanz in dem unsubstituierten Versuchsfutter auf 9,98 g/kg Trockensubstanz. Bei einer Zulage von 260 mg Kalziumchlorid zu 100 g Futter ergab sich eine Chloridkonzentration von 13,20 g/kg Trockensubstanz in Versuchsfutter 2 beziehungsweise 14,49 g/kg Trockensubstanz in dem kommerziell gefertigten Versuchsfutter 4. Durch die zusätzliche Gabe von 83 mg Ammoniumchlorid/100 g in Versuchsfutter 3 wurde ein Chloridgehalt von 15,75 g/kg Trockensubstanz erreicht. Diese Werte lagen alle deutlich über den 5,64 g Chlorid/kg Trockensubstanz des Vergleichsfutters.

Der Natriumgehalt der Versuchsfutter sowie der Kontrollfutter variierte untereinander nur unwesentlich und lag mit durchschnittlich 11,56 g/kg Trockensubstanz über der Empfehlung einer Struvitprophylaxe von 2 g/kg Trockensubstanz bis 6 g/kg Trockensubstanz beziehungsweise über der Empfehlung einer Struvittherapie von 7 g/kg Trockensubstanz bis 9 g/kg Trockensubstanz (Allen et al., 2002). Ein hoher Natriumgehalt im Futter soll über eine daraus folgende Steigerung des Harnvolumens der Steinentstehung entgegenwirken. Lekcharoensuk et al. (2001) beschreibt dagegen nach eigener Studie ein verringertes Risiko für das Wachstum von Struvitkristallen bei einer reduzierten Natriumzufuhr. Die Ursache hierfür ist ungeklärt.

Der Kaliumgehalt der analysierten Versuchsfutter wich in Versuchsfutter 4 mit einem Wert von 18,55 g Kalium/kg Trockensubstanz von den durchschnittlichen 14,24 g/kg Trockensubstanz der Versuchsfutter 1 bis 3 ab. Das unsubstituierte Versuchsfutter lag mit einem Kaliumgehalt von 11,25 g/kg Trockensubstanz deutlich niedriger. Da ansäuernde Futtermittel eine vorübergehende negative Kaliumbilanz zur Folge haben, sollten derartige Futter Kaliumkonzentrationen über dem Mindestbedarf enthalten (Dow et al., 1990). Des weiteren wirkt sich eine hohe Kaliumaufnahme über eine Hemmung der Ammoniaksynthese in der Niere positiv auf eine Reduktion des Struvitrisikos aus (Allen et al., 2002).

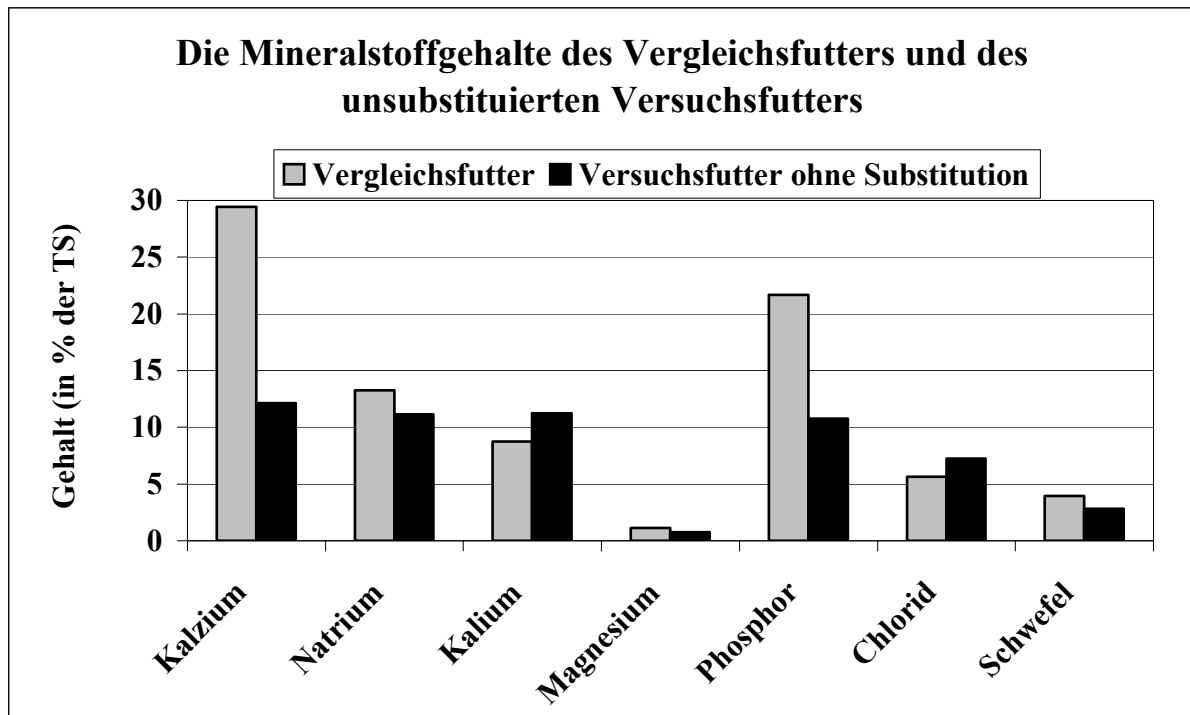


Abbildung 9: Die Mineralstoffgehalte des Vergleichsfutters sowie des unsubstituierten Versuchsfutters von Vorperiode 1 und 2 nach eigener Analyse im Vergleich (TS = Trockensubstanz)

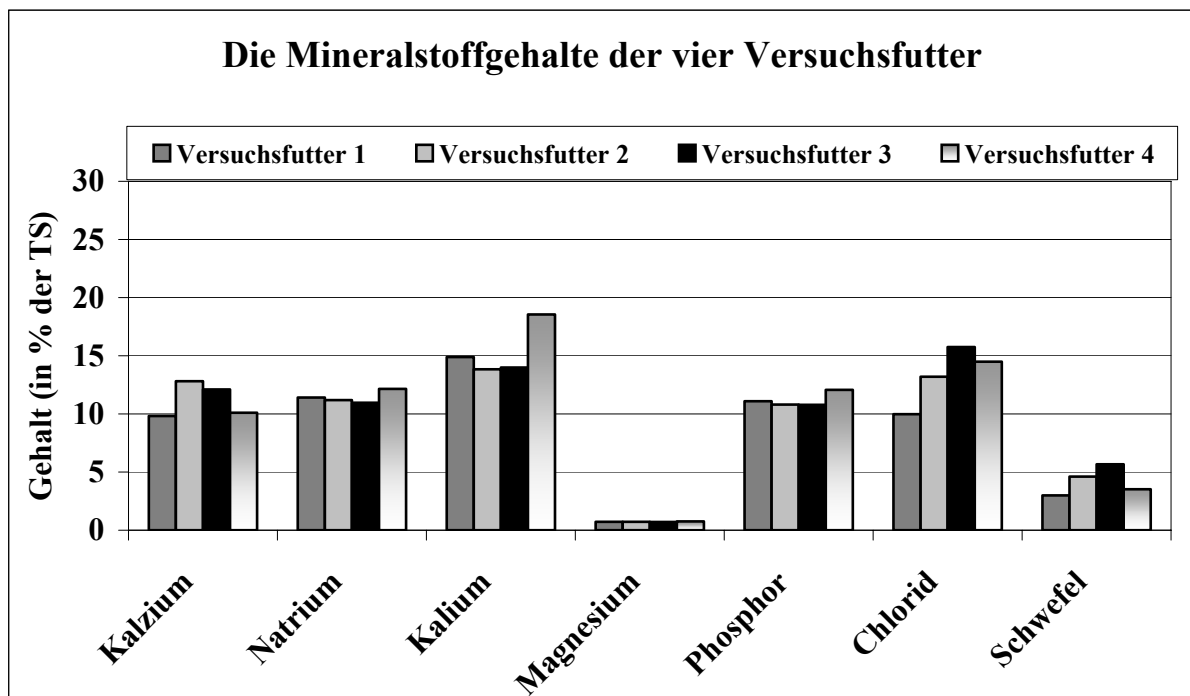


Abbildung 10: Die Mineralstoffgehalte der vier in der Studie verwendeten Versuchsfutter nach eigener Analyse im Vergleich (TS = Trockensubstanz)

- **Kationen-Anionen-Bilanz**

Mit der Zulage von Kalziumchlorid wird eine deutliche Senkung des Werts der Kationen-Anionen-Bilanz erreicht, obwohl der Zusatz von Kalziumchlorid rein rechnerisch den Basenexzess im Futter nicht beeinflusst (Kienzle et al., 1993). So lag die KAB des Versuchsfutters ohne weitere Substitution der Vorperiode 2, das während des gesamten Versuchszeitraums auch der Kontrollgruppe verabreicht wurde, bei 62,81 mmol/kg Trockensubstanz Futter. Dieser Wert lässt nach der Formel von Schuknecht (1991) zur Berechnung des Harn-pH-Wertes von Katzen anhand der Kationen-Anionen-Bilanz des Futters einen pH-Wert von 6,85 erwarten. Das kommerzielle Vergleichsfutter, das in Vorperiode 1 eingesetzt wurde, wies einen Basenexzess von 97,23 mmol/kg Trockensubstanz auf, wonach ein Harn-pH-Wert von 6,92 errechnet wurde. Durch den Austausch von 130 mg Kalziumkarbonat durch 130 mg Kalziumchlorid in 100 g Futter, was dem Versuchsfutter 1 entsprach, wurde die Kationen-Anionen-Bilanz bereits auf einen Wert von 43,01 mmol/kg Trockensubstanz gesenkt. Damit konnte ein Harn-pH-Wert von 6,81 erwartet werden. Mit der Supplementierung von 260 mg Kalziumchlorid/100 g Futter in Versuchsfutter 2 und 4 wurde der Wert der KAB auf 21,01 mmol/kg Trockensubstanz beziehungsweise 19,58 mmol/kg Trockensubstanz abgesenkt, was bei Verabreichung von Versuchsfutter 2 und 4 einen errechneten Harn-pH-Wert von jeweils 6,76 zur Folge hatte. Durch die Zulage von 260 mg Kalziumchlorid und zusätzlichen 83 mg Ammoniumchlorid/100 g in Versuchsfutter 3 wurde ein Absinken der Kationen-Anionen-Bilanz auf einen Wert von -8,83 mmol/kg Trockensubstanz Futter erreicht. Daraus ließ sich nach der Aufnahme des Versuchsfutters 3 durch die Katzen ein Harn-pH-Wert von 6,70 erwarten.

Nach der in der Literatur beschriebenen Empfehlung für ein Futter, das in der Prophylaxe gegen Struvitsteine eingesetzt werden soll, liegt der optimale Wert der KAB bei ungefähr 0 mmol/kg Trockensubstanz Futter, womit ein Harn-pH-Wert von unter 7 gewährleistet sein soll (Kienzle et al., 1993). Das entspricht den vorliegenden Analysenergebnissen, die alle einen pH-Wert von unter 7 erwarten ließen, wobei der Wert der Kationen-Anionen-Bilanz mit Ausnahme von Versuchsfutter 3 über 0 mmol/kg Trockensubstanz lag. Damit besitzen alle supplementierten Futter der vier Versuchsphasen eine prophylaktische Wirkung gegen die Bildung von Struvitsteinen.

Zur Auflösung bestehender Struvitkristalle wird Futter mit einer Kationen-Anionen-Bilanz von unter -260 mmol/kg Trockenmasse empfohlen. Dadurch ist ein Harn-pH-Wert von unter 6,5 gewährleistet (Kienzle et al., 1993). Keines der verwendeten Futter erreichte einen entsprechend niedrigen Wert der Kationen-Anionen-Bilanz und somit wurde auch kein entsprechend niedriger Harn-pH-Wert berechnet.

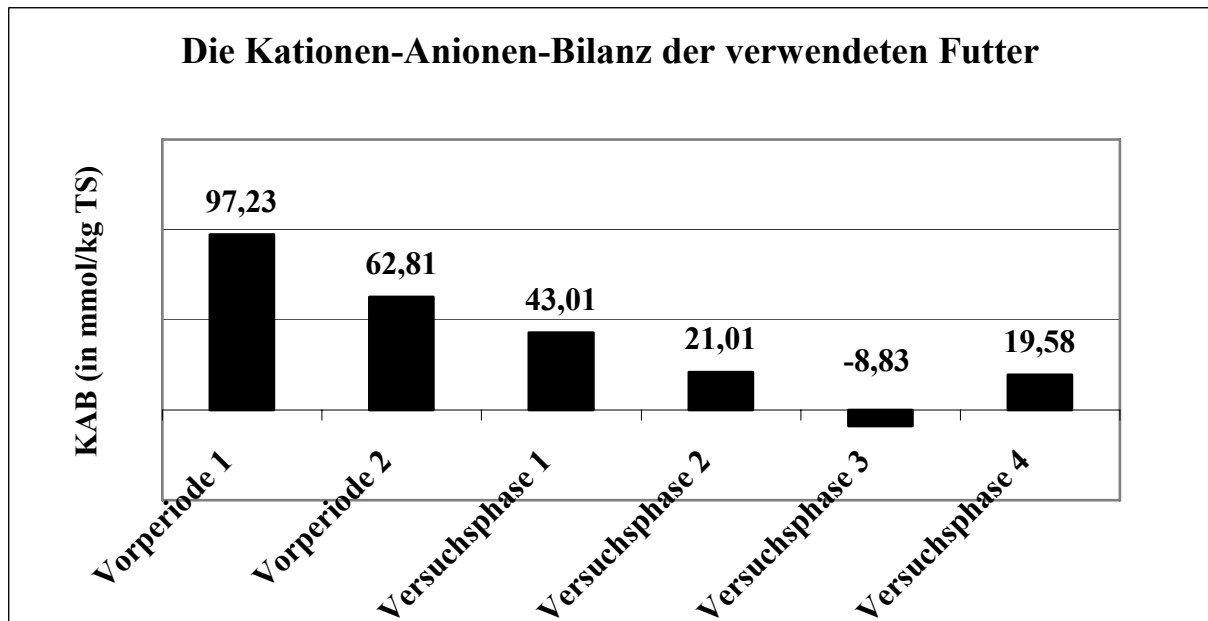


Abbildung 11: Die anhand der Mineralstoffgehalte berechnete Kationen-Anionen-Bilanz der in den verschiedenen Versuchsphasen verwendeten Futter (KAB = Kationen-Anionen-Bilanz, TS = Trockensubstanz)

5.5 Harnanalysen

- **pH-Wert**

Der durchschnittliche pH-Wert, der im Verlauf von 24 Stunden im Harn der Versuchskatzen jeweils zum Abschluss einer Fütterungsperiode gemessen wurde, stand in deutlicher Abhängigkeit zur Zusammensetzung des Futters. Dieser Effekt beruht auf den Regulationsmechanismen der Niere zur Aufrechterhaltung eines physiologischen Säure-Basen-Gleichgewichts im Organismus. Um die Wirkung von Futterinhaltsstoffen auf den Harn-pH-Wert von Katzen zu erfassen, wurden bereits einige Studien durchgeführt (Allen, 1996; Kienzle et al., 1993; Skoch et al., 1991).

Es war bereits ein hochsignifikanter Unterschied in den Durchschnittswerten der beiden Vorperioden zu beobachten. Der Harn nach Verfütterung eines Vergleichsfutters war mit einem mittleren Wert von 7,47 deutlich alkalischer als der durchschnittliche pH-Wert von 7,03, der durch die Aufnahme des Versuchsfutters ohne weitere Substitution erreicht wurde. Gemäß Literaturangaben steigt das Risiko einer Katze, an Struvitsteinen zu erkranken, bei einem pH-Wert des Harns von über 7 deutlich an (Kienzle et al., 1993; Skoch et al., 1991; Tarttelin, 1987).

Nach Trennung der Versuchstiere in eine Versuchsgruppe und eine Kontrollgruppe bewegte sich der Harn-pH-Wert der Kontrolltiere mit einem Durchschnittswert von 6,99 in allen Phasen des Versuchs erwartungsgemäß in einem ähnlichen Bereich, wie er nach der zweiten Vorperiode gemessen wurde. Der durchschnittliche Harn-pH-Wert der Versuchsgruppe hingegen sank mit zunehmender Substitution deutlich ab. So bewegte sich der pH-Wert in Versuchsphase 1 durch den anteiligen Ersatz von 130 mg Kalziumkarbonat durch 130 mg Kalziumchlorid in 100 g Futter in einen sauren Bereich von durchschnittlich 6,85. Durch die Verdoppelung der Kalziumchloridzulage auf 260 mg nach Abzug von 130 mg Kalziumkarbonat in 100 g Futter wurde ein weiteres Absinken des Wertes auf durchschnittlich 6,73 erreicht. Nach kommerzieller Herstellung des gleichen Futters durch den Futterhersteller in Versuchsphase 4 wurde ein Durchschnittswert von 6,67 erreicht, der signifikant unter dem mittleren pH-Wert der Kontrollgruppe dieser Versuchsphase lag. Durch das Hinzugeben von 83 mg Ammoniumchlorid zu 100 g Futter in der dritten Versuchsphase wurde die Harnansäuerung der Versuchskatzen noch mal erheblich verstärkt, wobei ein durchschnittlicher pH-Wert von 6,42 erreicht wurde.

Durch die Ammoniumchloridzulage wurde eine erhebliche Reduzierung der postprandialen Alkalisierung des Harns erreicht. So betrug der höchste im Verlauf von 24 Stunden gemessene Harn-pH-Wert zum Abschluß dieser Versuchsphase 7,02 und wurde bereits drei Stunden nach der Fütterung erreicht. In der Literatur wird ein Harn-pH-Wert von 6,5 als therapeutisch wirksam zur Behandlung und Auflösung von Struvitkristallen angegeben (Pastoor et al., 1994; Kienzle et al., 1993). Dieser therapeutische Bereich ist mit einem durchschnittlichen Harn-pH-Wert von 6,42 laut den Ergebnissen der vorliegenden Studie bei einer Zulage von 260 mg Kalziumchlorid und 83 mg Ammoniumchlorid zu 100 g Futter zu erreichen.

Ein pH-Wert von unter 7 im Harn wird als prophylaktisch wirksam beschrieben, um einer Auskristallisation von Struvitsteinen bei Katzen entgegenzuwirken (Kienzle et al., 1993; Tarttelin, 1987). Der durchschnittliche Harn-pH-Wert der Katzen befand sich nach Verabreichung aller verwendeten Versuchsfutter in den vier Versuchsphasen in dem für eine Prophylaxe empfohlenen Bereich. So wurde schon durch die Zulage von 130 mg Kalziumchlorid bei gleichzeitigem Entzug von 130 mg Kalziumkarbonat in 100 g Futter ein Durchschnitts-pH-Wert von 6,85 im Harn der Tiere gemessen.

Nach keinem der verabreichten Versuchsfutter wurde nach Ablauf von 24 Stunden ein durchschnittlicher pH-Wert im Harn der Tiere von unter 6,0 festgestellt, der nach Literaturangaben das Risiko einer metabolischen Azidose birgt (Pastoor et al., 1994).

Die Ansäuerung des Futters anhand der verwendeten Konzentrationen von Kalziumchlorid und Ammoniumchlorid hat somit den gewünschten Effekt erzielt.

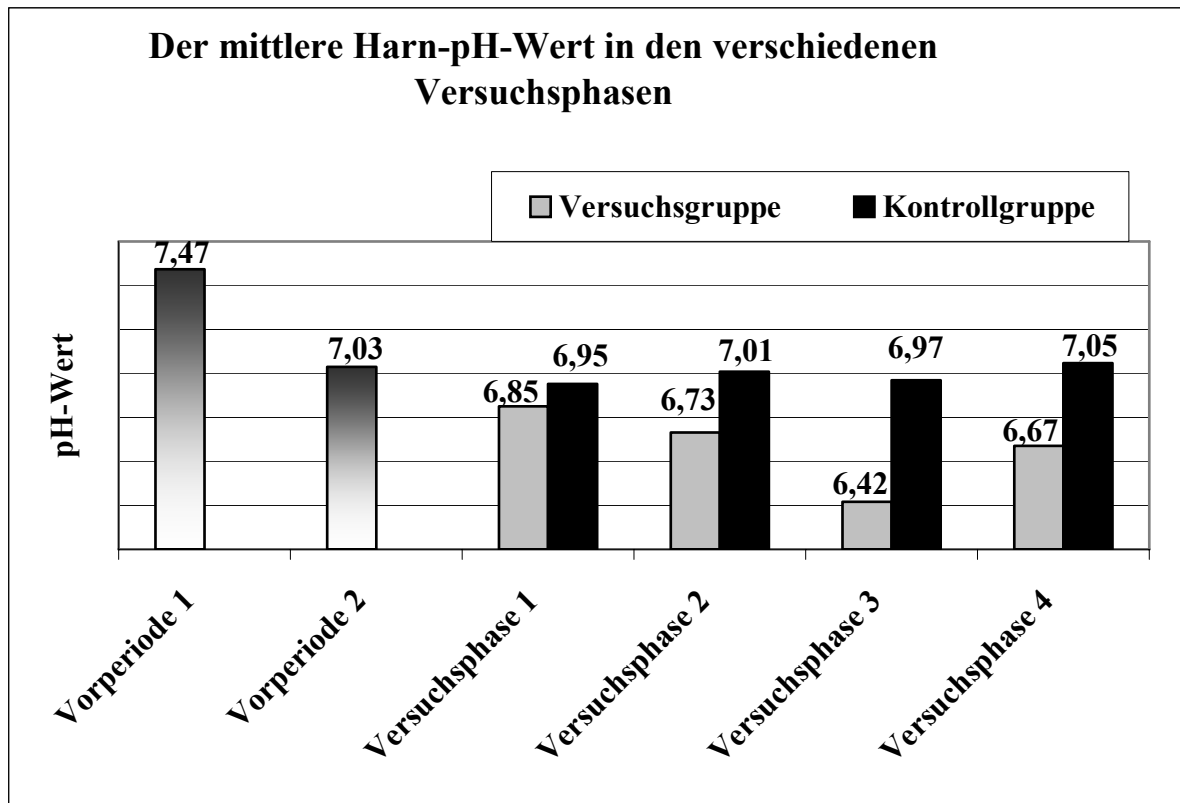


Abbildung 12: Der durchschnittliche Harn-pH-Wert der Versuchstiere in den verschiedenen Versuchsphasen im Verlauf von 24 Stunden

Es konnte in allen vier Versuchsphasen eine postprandiale Alkalisierung des Harns der Versuchskatzen beobachtet werden, die mit zunehmender Ansäuerung des Futters abgeschwächt wurde. In **Abbildung 13** ist der durchschnittliche pH-Wert des Harns der Katzen im Verlauf von 24 Stunden nach Verabreichung der Versuchsfutter in den verschiedenen Versuchsphasen dargestellt. Es besteht eine deutliche Diskrepanz zwischen dem postprandialen Harn-pH-Anstieg nach Verabreichung des am geringsten angesäuerten Futters, Versuchsfutter 1, und dem am stärksten angesäuerten Futter, Versuchsfutter 3. Mit steigender Substituierung der Futter und speziell durch die Zulage von Ammoniumchlorid konnte eine Verringerung der alkalischen Welle erreicht werden. Für Ammoniumchlorid wird diese Wirkung auch in anderen Studien beschrieben (Kienzle et al., 1993).

Im Vergleich zu der Kontrollgruppe wurden bei der Versuchsgruppe in Versuchsphase 2 und 3 hochsignifikant beziehungsweise signifikant niedrigere postprandiale pH-Werte innerhalb von 24 Stunden gemessen.

Die in dieser Studie angewandte Fütterungsmethode, nämlich die einmalige tägliche Futtermittelverabreichung statt einer ad libitum-Fütterung, führt zu einer verstärkten postprandialen Alkalisierung. Nach bekannten Untersuchungen hat eine ad libitum-Fütterung eine länger dauernde, aber weniger stark ausgeprägte

postprandiale Steigerung des Harn-pHs zur Folge, womit sich die ad libitum-Fütterung prinzipiell besser in der Prophylaxe und Therapie von Struvitsteinen einsetzen lässt (Finke et al., 1992; Leugner, 1988).

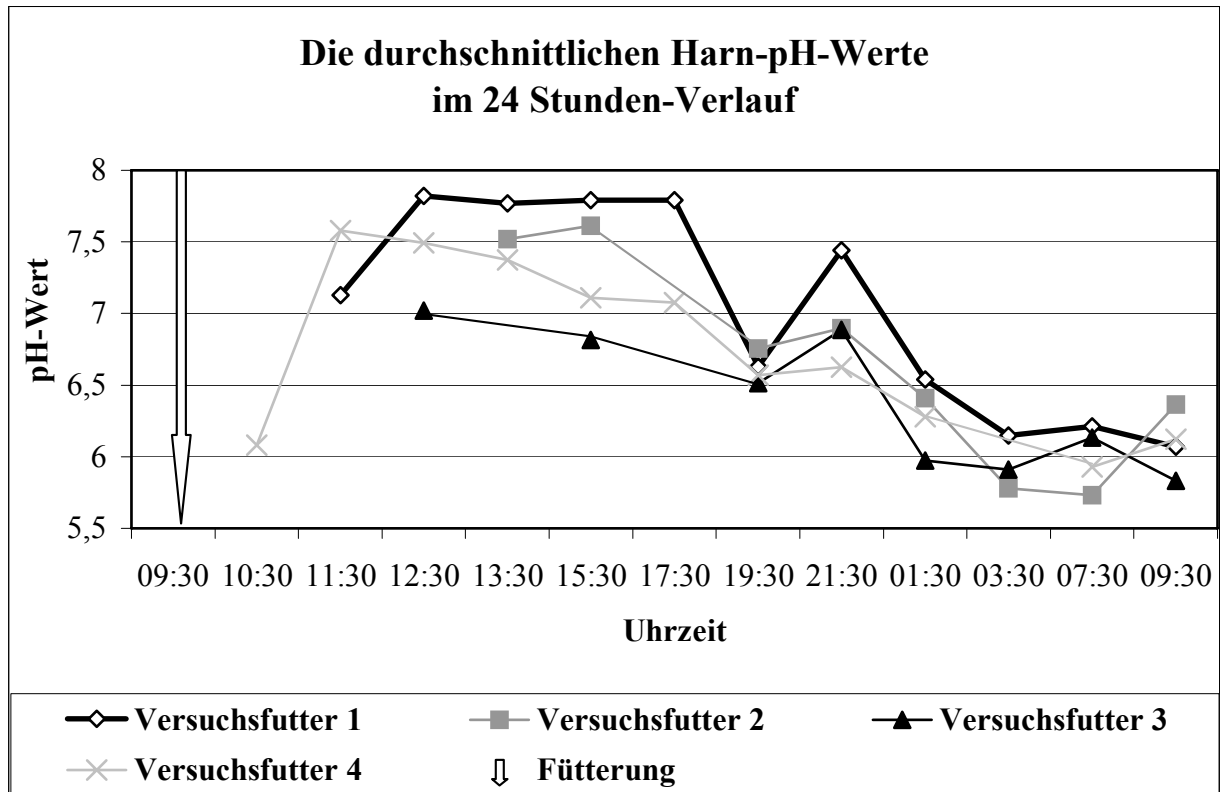


Abbildung 13: Der 24 Stunden-Verlauf der durchschnittlichen Harn-pH-Werte in den vier Versuchsphasen vom Zeitpunkt der Fütterung ab

Für jedes in dieser Studie verwendete Futter wurde anhand der analysierten Mineralstoffgehalte eine Kationen-Anionen-Bilanz nach der Formel von Krohn (1993) errechnet. Anhand dieser Werte wurde mit Hilfe der Formel von Schuknecht (1991) der bei Verabreichung des entsprechenden Futters zu erwartende Harn-pH-Wert berechnet. **Abbildung 14** zeigt die errechneten und die gemessenen pH-Werte der vier Versuchsphasen in Gegenüberstellung.

Mit Ausnahme des Wertes für das kommerzielle Vergleichsfutter der ersten Vorperiode sowie des Wertes für das Versuchsfutter 3 stimmen die berechneten und die gemessenen pH-Werte mit geringfügigen Abweichungen überein. Der nach Verfütterung des Vergleichsfutters gemessene durchschnittliche Harn-pH-Wert überragt den anhand der KAB erwarteten Wert deutlich. Bei Versuchsfutter 3 lässt sich Gegenteiliges beobachten. Hier ist der gemessene pH-Wert gegenüber dem errechneten erniedrigt. Die Differenz dieser Werte kann möglicherweise analysebedingten Unregelmäßigkeiten zugeschrieben

werden. **Abbildung 15** zeigt die prozentuale Abweichung der gemessenen Harn-pH-Werte von den berechneten Ergebnissen auf.

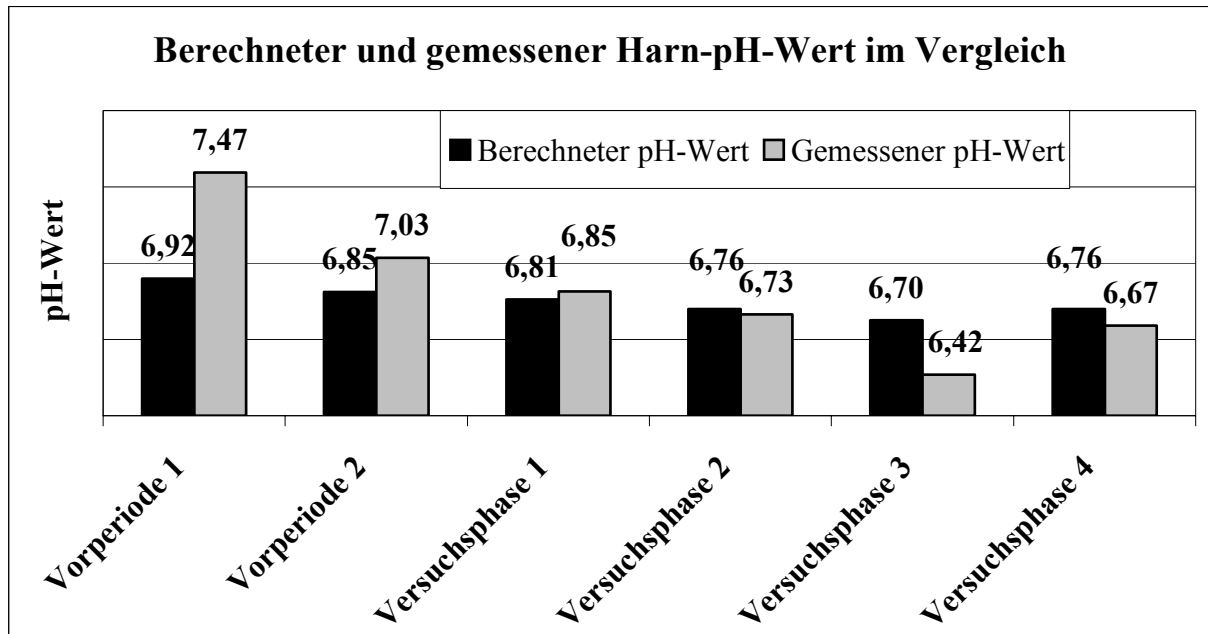


Abbildung 14: Der berechnete und der gemessene Harn-pH-Wert der verschiedenen Versuchsphasen, vergleichend gegenübergestellt

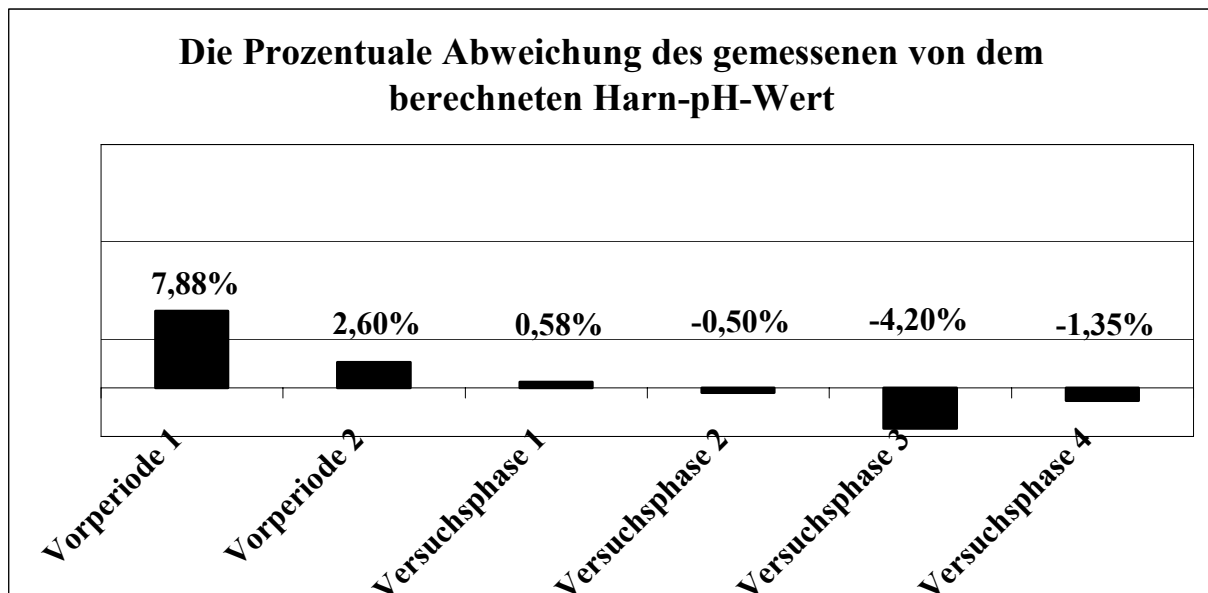


Abbildung 15: Die Abweichung der gemessenen durchschnittlichen Harn-pH-Werte von den anhand der Kationen-Anionen-Bilanz erwarteten Werte in Prozent

- **Harnvolumen**

Die Menge des Harns, der von den Katzen innerhalb der 24stündigen Sammlung abgesetzt wurde, wies keine Abhängigkeit von der Zusammensetzung der eingesetzten Futtermittel auf. Pastoor et al. (1994) konnte nach eigener Studie eine geringe Steigerung des Harnvolumens nach Substitution des Futters mit Kalziumchlorid beobachten. In einem zweiten Experiment wurde dieses Ergebnis jedoch nicht bestätigt.

Die reduzierte Menge an gewonnenem Harn nach Aufnahme der kommerziellen, nicht angesäuerten Futtermittel in den beiden Vorperioden war vermutlich der ungewohnten Fütterungssituation zuzuschreiben. Im letzten Versuchsdurchgang der Studie war eine leichte Volumenerhöhung beider Gruppen zu beobachten, die möglicherweise auf die zunehmende Gewöhnung der Tiere an die unbekannte Situation in den Stoffwechsellkäfigen zurückzuführen war.

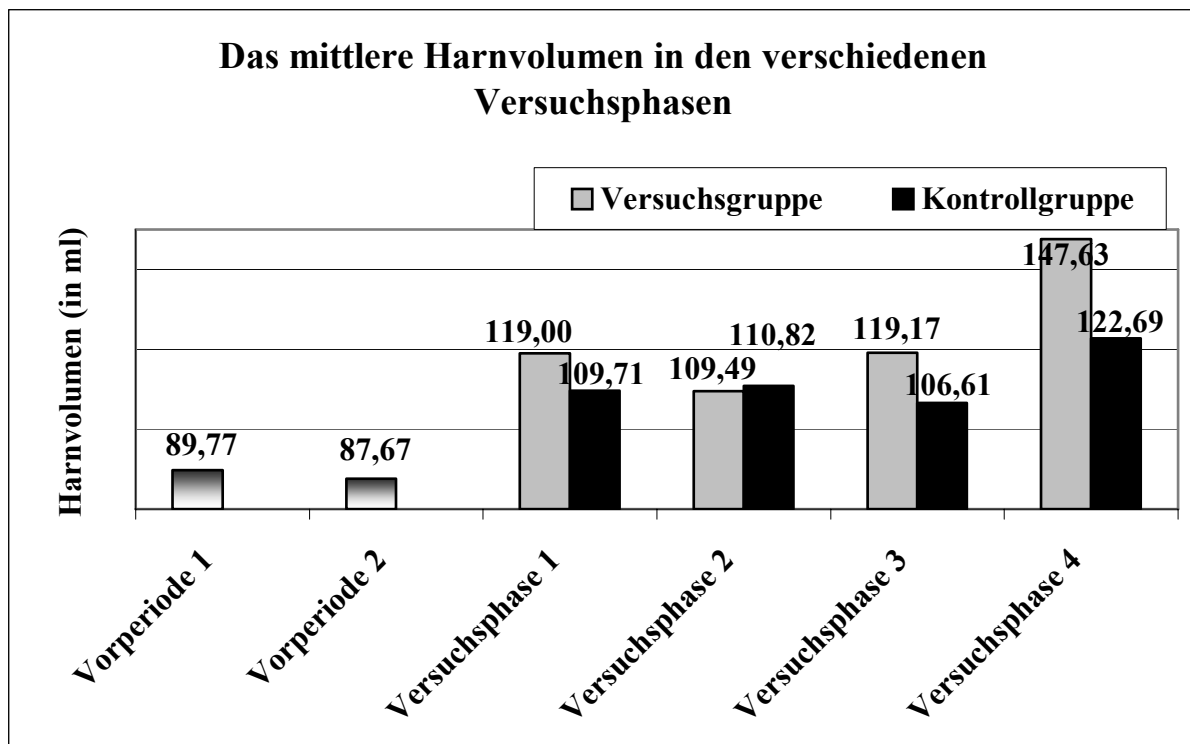


Abbildung 16: Das durchschnittliche Harnvolumen der Versuchstiere in den verschiedenen Versuchsphasen im Verlauf von 24 Stunden

- **Spezifisches Gewicht**

Das gemessene spezifische Harngewicht ließ laut vorliegender Studie keinen Zusammenhang zu der Art des verabreichten Futters und damit keine

Abhängigkeit von der Substitution des Futters mit Kalziumchlorid beziehungsweise Ammoniumchlorid erkennen. Die durchschnittlichen Werte pendelten zwischen 1,032 g und 1,043 g. Damit befanden sich die Werte alle in einem für Katzen physiologischen Bereich, der bis zu einem spezifischen Harngewicht von 1,085 reicht (Kraft et al., 1999). Die in der Studie dem Futter zugesetzten Konzentrationen an Kalziumchlorid sowie Ammoniumchlorid haben demnach keinen signifikanten Einfluss auf die Menge an gelösten Substanzen im Harn der Tiere, womit das Risiko einer Harnübersättigung durch derartig modifiziertes Futter nicht gesteigert wird.

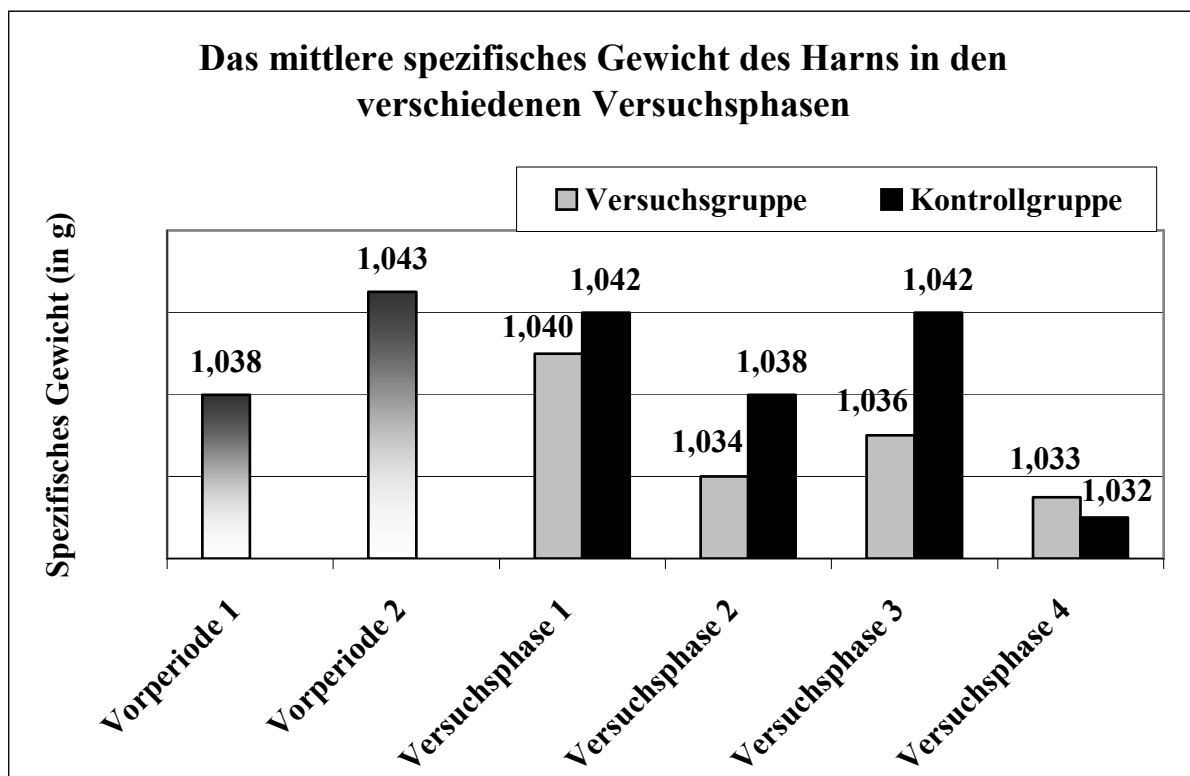


Abbildung 17: Das durchschnittliche spezifische Harngewicht der Versuchstiere in den verschiedenen Versuchsphasen im Verlauf von 24 Stunden

- **Kalziumgehalt**

Die Kalziumkonzentration, die im Harn der Versuchstiere gemessen wurde, und die Kalziummenge, die von den Tieren durch das Futter aufgenommen wurde, können eine geringfügige Beziehung zueinander erkennen lassen, die aber statistisch nicht von Bedeutung ist. Der Anstieg der Kalziumexkretion über den Harn mit zunehmender Substituierung der Versuchsfutter ist bei den verwendeten Konzentrationen von Kalziumchlorid beziehungsweise Ammoniumchlorid sehr gering. Ching et al., (1989) beobachtete, dass eine

starke Ansäuerung des Harns beispielsweise mit Ammoniumchlorid zu Veränderungen im Kalziummetabolismus mit einer erhöhten Kalziumausscheidung führt. Daraus kann eine negative Kalziumbilanz resultieren. Zurückgeführt wird dies unter anderem auf eine gesteigerte Freisetzung von Kalzium aus den Knochen zur Pufferung des Blut-pHs. Diese Beobachtung wird von älteren Untersuchungen gestützt. Pastoor et al. (1994) konnte nach eigener Studie keinen Anstieg des Kalziumgehalts im Harn durch Futteransäuerung und steigende Kalziumaufnahme feststellen, was darauf zurückgeführt wird, dass die erreichte Ansäuerung des Harns nicht sehr ausgeprägt war.

Die gemessene durchschnittliche Kalziumkonzentration im Harn sank in Versuchsphase 1 gegenüber den Kontrollwerten zunächst auf 13,7 mg/l. Dem Versuchsfutter dieser Phase wurde Kalziumkarbonat entzogen und durch Kalziumchlorid in gleicher Menge, 130 mg in 100 g Futter, ersetzt. Da der Anteil an Kalzium in der Kalziumkarbonatverbindung mit 36 % größer als der Kalziumanteil von 22 % in der Kalziumchloridverbindung ist, resultierte daraus eine geringere Kalziumkonzentration des Futters. In Versuchsphase 2 und 3 stieg der Kalziumgehalt im Harn bis auf einen Wert von 16,9 mg/l an, wobei der Zusatz von Kalziumchlorid in Versuchsphase 2, 3 und 4 von 130 mg auf 260 mg in 100 g Futter verdoppelt worden war. Der Wert, der nach Versuchsphase 4 gemessen wurde, wich mit 9,8 mg/l deutlich von den anderen Werten ab. Da dies parallel dazu auch bei der Kontrollgruppe der Fall war, kann angenommen werden, dass dieses Ergebnis analysebedingt oder auf die kommerzielle Herstellung des in dieser Versuchsphase verwendeten Futters zurückzuführen war und der gesamte Kalziumgehalt dieses Futters gegenüber dem, das in Versuchsphase 1 bis 3 verfüttert wurde, leicht vermindert war.

Diesen Ergebnissen zufolge führte die Aufnahme des am stärksten angesäuerten Futters zu der höchsten Kalziumexkretion mit dem Harn.

Da bei Katzen eine enge Beziehung zwischen der Kalziumaufnahme des Futters und der Kalziumausscheidung über den Harn besteht (Allen et al., 2002), sollte bei kalziumhaltigen und ansäuernden Futterzusätzen bedacht werden, dass eine Hyperkalzurie ein Risikofaktor für die Entwicklung von Kalziumoxalaten darstellt.

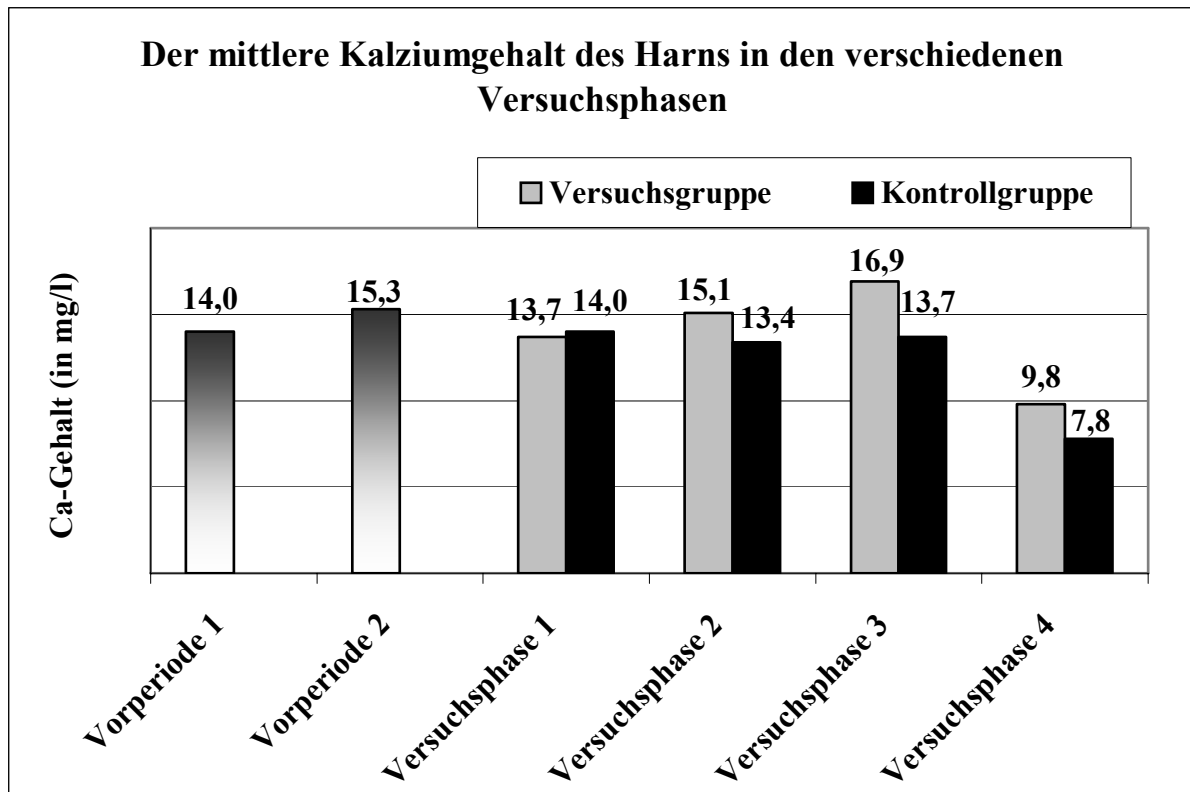


Abbildung 18: Der durchschnittliche Kalziumgehalt des Harns der Versuchstiere in den verschiedenen Versuchsphasen im Verlauf von 24 Stunden

- **Harnsediment**

Das Ergebnis der Harnsedimentuntersuchung zeigte weder bei der Versuchsgruppe noch bei der Kontrollgruppe unphysiologische Abweichungen. Die in der vorliegenden Fütterungsstudie eingesetzten Konzentrationen zur Ansäuerung des Futters sowie die leicht erhöhte Kalziumausscheidung haben also nicht zur Bildung von Kalziumoxalaten oder anderen krankhaften Veränderungen des Harns der Versuchstiere geführt.

5.6 Schlussfolgerung

Die ermittelten Ergebnisse dieser Fütterungsstudie zeigen, dass durch die Substitution von Katzenfutter mit Kalziumchlorid in den verwendeten Dosierungen eine Ansäuerung des Harns in einen prophylaktischen Bereich in Bezug auf das Wachstum von Struvitkristallen möglich ist. So bewirkt bereits der anteilige Ersatz von 25 % der alkalogen wirkenden und als Kalziumträger fungierenden Futterkomponente Kalziumkarbonat durch die identische Menge

an Kalziumchlorid eine Senkung des pH-Wertes im Harn der Tiere. Bei den in dieser Studie eingesetzten geringen Konzentrationen von maximal 0,26 % Kalziumchlorid allein oder mit zusätzlichen 0,08 % Ammoniumchlorid treten keinerlei negative Begleiterscheinungen auf. Es ist daher möglich, Kalziumchlorid dem Katzenfutter als Kalziumträger zuzufügen und so die alkalisierende Wirkung des Kalziumkarbonats zu umgehen. Diese Option hat große praktische Relevanz, da durch die Verfütterung entsprechend modifizierten Futters eine Alkalisierung des Harns und damit das Risiko für Katzen, eine Struvitrolithiasis zu entwickeln, deutlich gemindert wird. Außerdem wird empfohlen, um bei längerfristiger Fütterung einer angesäuerten Struvitdiät gesundheitliche Risiken zu vermeiden, dem Futter möglichst wenig alkalisierende Komponenten zuzufügen, die durch Ansäuerer ausgeglichen werden müssen (Kienzle et al., 1993). Zusätzlich hat die Azidierung des Futters eine reduzierte postprandiale Alkalisierung des Harns zur Folge, was durch die Zulage von Ammoniumchlorid noch verstärkt wird.

Entgegen den Erwartungen, da Kalziumchlorid rechnerisch gesehen den Basenexzess im Futter kaum beeinflusst, lässt sich anhand der Erstellung der Kationen-Anionen-Bilanz die Wirkung der supplementierten Futter auf den Säure-Basen-Haushalt des Organismus und damit auf den Harn-pH-Wert der Tiere mit geringen Abweichungen vorhersagen.

Der Gehalt an zugesetzten azidierenden Futterkomponenten führt zu keinerlei gesundheitlichen Problemen bei den Katzen, wie dies für höhere Konzentrationen von Futteransäuenern beschrieben wird. Der erwartete Anstieg der Kalziumexkretion über die Niere mit zunehmender Ansäuerung fällt sehr gering aus und ist statistisch gesehen nicht von Bedeutung. Dadurch ist nicht mit einer Störung im Kalziummetabolismus des Organismus oder mit einem erhöhten Risiko für die Bildung von Kalziumoxalatkristallen durch eine Hyperkalzurie zu rechnen. Die Akzeptanz des Futters durch die Katzen nimmt bei den in der Untersuchung eingesetzten Mengen an Kalziumchlorid und Ammoniumchlorid nicht ab. Damit ist ein für die Praxis wichtiger limitierender Faktor aufgehoben.

Abschließend lässt sich sagen, dass Kalziumchlorid in Hinblick auf die Bekämpfung von Struvitsteinen einen sinnvollen Kalziumträger in Katzenfuttermitteln darstellt, der die Reduktion des alkalisierenden Kalziumkarbonats ermöglicht. Damit ist über eine leichte Senkung des Harn-pH-Wertes der Tiere eine langzeitige prophylaktische Fütterung mit einem derart supplementierten Futter durchführbar.

6 Zusammenfassung

Die Bildung von Harnsteinen ist ein bei Katzen häufig anzutreffendes Problem. In den meisten Fällen feliner Urolithiasis handelt es sich um die Bildung von Struvitsteinen. Die Auskristallisation dieser Magnesium-Ammonium-Phosphatsalze im Harn ist ein multifaktoriell bedingter Prozess, wobei der Zusammensetzung des Futters große ursächliche Bedeutung zukommt. Daher kann die gezielte Modifikation des Futters als prophylaktische Maßnahme eingesetzt werden. Im Fall von Struvitsteinen stellt eine Ansäuerung des Harns durch azidierende Futterzusätze eine effektive Prophylaxe dar.

In der vorliegenden Studie wurde daher überprüft, ob sich Kalziumchlorid als Futtersupplement in Alleinfuttermitteln zur Ansäuerung des Harns bei adulten Katzen eignet und ob zu diesem Zweck Kalziumkarbonat teilweise durch Kalziumchlorid ausgetauscht werden kann. Dabei wurde die Wirkung des Kalziumchlorids auf den Harn-pH-Wert, das Harnvolumen, das spezifische Gewicht des Harns und die Kalziumexkretion über den Harn erfasst.

In der ersten Phase des Experiments wurden die Harnparameter von 14 Katzen nach Verabreichung zweier kommerzieller Feuchtfutter ermittelt und verglichen. Im weiteren Verlauf wurde in einem dieser kommerziellen Feuchtfutter der Gehalt an Kalziumkarbonat reduziert und dafür Kalziumchlorid in steigender Menge zur Ansäuerung des Harns hinzugefügt. In einer weiteren Versuchsphase wurde dem Futter zusätzlich Ammoniumchlorid zugesetzt. Für die verwendeten Futter wurde eine Kationen-Anionen-Bilanz nach folgender Formel erstellt: $KAB \text{ (mmol/kg Trockensubstanz)} = 49,9 \cdot Ca + 82,3 \cdot Mg + 43,5 \cdot Na + 25,6 \cdot K - 64,6 \cdot P - 86,8 \cdot S - 28,2 \cdot Cl$.

Jeweils zum Abschluss einer Fütterungsphase wurde eine 24stündige Harnsammlung durchgeführt.

Durch die Substitution des Futters mit Kalziumchlorid in den verwendeten Dosierungen wurde eine leichte Ansäuerung des Harns erreicht. Der durchschnittliche Harn-pH-Wert der Katzen bewegte sich in allen Versuchsphasen in einem Bereich von unter 7,0 der prophylaktisch gegen die Auskristallisation von Struvitsteinen wirksam ist. Bereits der anteilige Austausch von Kalziumkarbonat durch Kalziumchlorid führte zu einem Absinken des pH-Werts gegenüber der Kontrollgruppe. Der niedrigste mittlere Harn-pH-Wert wurde nach zusätzlicher Supplementation des Futters mit Ammoniumchlorid gemessen und betrug 6,42. Durch die alleinige Substitution von Kalziumchlorid lag der mittlere Harn-pH-Wert in keiner Versuchsphase unter 6,5.

Die postprandial auftretende Alkalisierung des Harns war mit zunehmender Ansäuerung schwächer ausgeprägt. Dies war besonders deutlich nach Aufnahme der ammoniumchloridsubstituierten Ration.

Durch die Supplementierung des Futters mittels Kalziumchlorid wurde weder das Harnvolumen noch das spezifische Gewicht des Harns der Katzen beeinflusst. Auch der Zusatz von Ammoniumchlorid führte zu keiner Veränderung von Volumen und spezifischem Gewicht. Die Kalziumausscheidung über den Harn ließ in Abhängigkeit von der Ansäuerung der Versuchsfutter einen geringen Anstieg beobachten, der statistisch gesehen aber nicht von Bedeutung ist.

Durch die Aufnahme der in dieser Studie verwendeten Mengen an Kalziumchlorid sowie Ammoniumchlorid durch die Katzen und die folgende Azidierung konnte keinerlei Beeinträchtigung des Allgemeinbefindens beziehungsweise der Futterakzeptanz festgestellt werden. Die durchschnittliche Futteraufnahme der Tiere blieb über den gesamten Versuchszeitraum hinweg unverändert.

Den Ergebnissen der Studie zufolge eignet sich Kalziumchlorid bereits in geringen Konzentrationen zum Ansäuern des Harns von Katzen. Da sich keine negativen Nebenwirkungen bei den verwendeten Dosierungen beobachten ließen, besteht eventuell die Möglichkeit, Kalziumchlorid in der Prophylaxe von Struvitsteinen effektiv einzusetzen und Kalziumkarbonat als Kalziumträger in Alleinfuttermitteln für Katzen anteilig abzulösen.

7 Summary

Gesa Arens

Evaluation of the quantitative determination of urine acidification through calcium chloride in the cat

The formation of uroliths is a frequently encountered problem in cats. In most cases of feline urolithiasis the crystals are composed of struvite. The crystallisation of magnesium-ammonium-phosphate in the urine is a multifactorially caused process, in which the composition of food is of great causal relevance. Therefore the specific modification of food can be utilised as a prophylactic measure. In the case of struvite uroliths the acidification of urine through acidifying food supplements represents an effective prophylaxis.

Therefore the aim of the present study was to investigate whether calcium chloride as a supplement in a complete diet is suitable for the acidification of urine in adult cats and whether calcium chloride in a partial exchange for calcium carbonate is suitable for that. Hence, the effect of calcium chloride on the urine pH, the urine volume, the specific gravity of the urine and the calcium excretion through the urine were determined.

In the first phase of the study the urine parameters of 14 cats were examined and compared after the feeding of two commercial canned foods. In the following course of the experiment in one of the commercial canned foods the content of calcium carbonate was reduced and calcium chloride was added in increasing concentrations for the acidification of urine. In a further phase of the experiment ammonium chloride was additionally added to the food. For the used foods a cation-anion-balance was calculated as follows:

$CAB \text{ (mmol/kg dry matter)} = 49,9 \cdot Ca + 82,3 \cdot Mg + 43,5 \cdot Na + 25,6 \cdot K - 64,6 \cdot P - 86,8 \cdot S - 28,2 \cdot Cl$. At the end of every feeding period a 24-hour urine collection was carried out.

Through the supplementation of the food with calcium chloride in the employed concentrations a slight acidification of urine was achieved. In all phases of the experiment the mean urine pH of the cats was situated under 7,0 which has a prophylactic effect on the formation of struvite calculi. Even the partial exchange of calcium carbonate by calcium chloride caused a decrease of the urine pH compared to the control group. The lowest mean pH of the urine was measured after the additional supplementation of the food with ammonium

chloride and reached 6,42. The sole supplementation of the food with calcium chloride never resulted in a mean urine pH under 6,5 in any phase of the study.

With increasing acidification of the urine the postprandial alkalisation of the urine decreased. The decrease was particularly significant after intake of the ammonium chloride supplemented diet.

Through the supplementation of the food with calcium chloride neither urine volume nor urine specific gravity of the cats was altered. Also the addition of ammonium chloride did not influence the volume and the specific gravity of urine. The calcium excretion in the urine showed a slight increase in relation to the acidification of the treated diet. This, however, is not statistically significant.

The intake of the amounts of calcium chloride as well as ammonium chloride used in the present study and the following acidification did not result in any observable impairment of the cats' condition.

Further, the cats' acceptance of the food did not show any relation to the substitution of the treated diet and was not influenced by the acidification of the food. The average food intake of the cats remained stable over the entire course of the feeding study.

According to the results of the present investigation calcium chloride is able to acidify the urine of cats even in low concentrations. Since the used dosages did not result in any negative side effects, it seems possible to effectively employ calcium chloride in the prophylaxis of struvite uroliths and to partially replace calcium carbonate as a calcium carrier in complete diets for cats.

8 Literaturverzeichnis

Albasan H., Lulich J.P., Osborne C.A., Lekcharoensuk C., Ulrich L.K., Carpenter K.A. (2003)

Effects of storage time and temperature on pH, specific gravity, and crystal formation in urine samples from dogs and cats
J. Am. Vet. Med. A. 222 (2): 176-179

Allen T.A. (1996)

Measurement of the influence of diet on feline urinary pH
Vet. Cl. N. Am.: Sm. Anim. Pract. 26: 363-368

Allen T.A., Kruger J.M. (2002)

Erkrankungen der unteren Harnwege bei Katzen
In: Hand M.S., Thatcher C.D., Remillard R.L., Roudebush P. (Hrsg.): Klinische Diätetik für Kleintiere, Band 2
Schlittersche Verlag, Hannover

Barker J., Povey R.C. (1973)

The feline urolithiasis syndrome: a review and an inquiry into the alleged role of dry cat foods in its aetiology
J. Sm. Anim. Pract. 14: 445-457

Barsanti J.A., Finco D.R., Shotts E.B., Ross L. (1982)

Feline urologic syndrome: Further investigation into therapy
J. Am. Anim. Hos. A. 18: 387-390

Bartges J.W., Osborne C.A., Lulich J.P. (1999)

Methods for evaluating treatment of uroliths
Vet. Cl. N. Am.: Sm. Anim. Pract. 29: 46

Bernard M.A. (1978)

Feline urological syndrome: A study of seasonal incidence, frequency of repeat visits and comparison of treatments
Can. Vet. J. 19: 284-288

Beker S. (1999)

Einstellung des Harn-pH-Wertes bei Sauen
Diss., München

Bovée K.C., Reif J.S., Maguire T.G., Gaskell C.J., Batt R.M. (1979)

Recurrence of feline urethral obstruction
J. Am. Vet. Med. A. 174 (1): 93-96

Buffington C.A.T. (1994)

Lower urinary tract disease in cats- new problems, new paradigms
J. Nutr. 124: 2643 S-2651 S

Buffington C.A., Blaisdell J.L., Sako T. (1994)

Effects of Tamm-Horsfall glycoprotein and albumin on struvite crystal growth
in urine of cats
Am. J. Vet. Res. 55 (7): 965-971

Buffington C.A., Blaisdell J.L., Komatsu Y., Kawase K. (1994)

Effects of choreito consumption on struvite crystal growth in urine of cats
Am. J. Vet. Res. 55 (7): 972-975

Buffington C.A.T., Blaisdell J.L., Komatsu Y., Kawase K. (1997)

Effects of choreito and takushya consumption on in vitro and in vivo struvite
solubility in cat urine
Am. J. Vet. Res. 58 (2): 150-152

Buffington C., Chew D. (1998)

Effects of diet on cats with non-obstructive lower urinary tract diseases: a
review
J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. 80: 120-127

Buffington C.A., Rogers Q.R., Morris J.G. (1990)

Effect of diet on struvite activity product in feline urine
Am. J. Vet. Res. 51 (12): 2025-2030

Burger I.H. (1986)

Nutritional aspects of the feline urological syndrome (FUS)
Tijdschr. Diergeneeskd. 111: 476-479

Ching S.V., Fettman M.J., Hamar D.W., Nagode L.A., Smith K.R. (1989)

The effect of chronic dietary acidification using ammonium chloride on acid-base and mineral metabolism in the adult cat
J. Nutr. 119: 902-915

Cottam Y.H., Caley P., Wamberg S., Hendriks W.H. (2002)

Feline reference values for urine composition
J. Nutr. 132: 1754S-1756S

Dirks J.H. (1985)

Pathophysiology of calcium, magnesium and phosphorus and their importance in renal stones

In: Vahlensieck W., Gasser G. (Hrsg.): Pathogenese und Klinik der Harnsteine XI.

Steinkopff Verlag, Darmstadt

Dorn C.R., Saueressig S., Schmidt D.A. (1973)

Factors affecting risk of urolithiasis-cystitis-urethritis in cats
Am. J. Vet. Res. 34 (3): 433-436

Dosch W. (1987)

Formalgenese

In: Vahlensieck W. (Hrsg.): Das Harnsteinleiden

Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York

Dow S.W., Fettman M.J., Smith K.R., Hamar D.W., Nagode L.A., Refsal K.R., Wilke W.L. (1990)

Effects of dietary acidification and potassium depletion on acid-base balance, mineral metabolism and renal function in adult cats

J. Nutr. 120: 569-578

Escolar E., Bellanato J. (2003)

Analysis of feline urinary calculi and urethral plugs by infrared spectroscopy and scanning electron microscopy

Vet. R. 152: 625-628

Finke M.D., Litzenberger B.A. (1992)

Effect of food intake on urine pH in cats

J. Sm. Anim. Pract. 33: 261-265

Finlayson B. (1978)

Physicochemical aspects of urolithiasis

Kidney Int. 13: 344-360

Fleisch H. (1978)

Inhibitors and promoters of stone formation

Kidney Int. 13: 361-371

Funaba M., Yamate T., Hashida Y., Maki K., Gotoh K., Kaneko M., Yamamoto H., Iriki T., Hatano Y., Abe M. (2003)

Effects of a high-protein diet versus dietary supplementation with ammonium chloride on struvite crystal formation in urine of clinically normal cats

Am. J. Vet. Res. 64 (8): 1059-1064

Funaba M., Yamate T., Narukawa Y., Gotoh K., Iriki T., Hatano Y., Abe M. (2001)

Effect of supplementation of dry cat food with d,l-methionin and ammonium chloride on struvite activity product and sediment in urine

J. Vet. Med. Sci. 63 (3): 337-339

Henning H.V. (1987)

Nierensteinleiden

In: Siegenthaler W., Kaufmann W., Hornbostel H., Waller H.D. (Hrsg.):

Lehrbuch der inneren Medizin

Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York

Hesse A., Sanders G. (1985)

A survey of urolithiasis in cats
J. Sm. Anim. Pract. 26: 465-476

Hesse A., Steffes H.-J., Graf C. (1998)

Pathogenetic factors of urinary stone formation in animals
J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. 80: 108-119

Hesse A., Tiselius H.-G., Jahnen A. (2002)

Urinary Stones
Karger Verlag, Basel

Hierholzer K., Fromm M. (1987)

Wasser und Elektrolythaushalt; Physiologie der Niere
In: Scheunert A., Trautmann A. (Hrsg.): Lehrbuch der Veterinärphysiologie
Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg

Houston D.M., Moore A.E.P., Favrin M.G., Hoff B. (2003)

Feline urethral plugs and bladder uroliths: A review of 5484 submissions 1998-2003
Can. Vet. J. 44: 974-977

Houston D.M., Rinkardt N.E., Hilton J. (2004)

Evaluation of the efficacy of a commercial diet in the dissolution of feline struvite bladder urolith
Vet. Therap. 5 (3): 187-201

Izquierdo J.V., Czarnecki-Maulden G.L. (1991)

Effect of various acidifying agents on urine pH and acid base balance in adult cats
J. Nutr. 121: S 89-S 90

Kienzle E. (1989)

Untersuchungen zum Intestinal- und Intermediärstoffwechsel von Kohlenhydraten (Stärke verschiedener Herkunft und Aufbereitung, Mono- und Disaccharide) bei der Hauskatze (*Felis catus*)
Habil.-Schr., Hannover

Kienzle E., Schuhknecht A. (1993)

Untersuchungen zur Struvitsteindiätetik: 1. Einfluss verschiedener Futterrationen auf den Harn-pH-Wert der Katze
Dtsch. tierärztl. Wschr. 100: 198-203

Kienzle E., Wilms-Eilers S. (1993)

Untersuchungen zur Struvitsteindiätetik: 2. Einfluss von Ammoniumchlorid und Carbonaten auf den Säure-Basen- und Mineralstoffhaushalt der Katze
Dtsch. Tierärztl. Wschr. 100: 399-405

Kienzle E., Wilms-Eilers S. (1994)

Struvite diet in cats: Effect of ammonium chloride and carbonates on acid-base balance of cats
J. Nutr. 124: 2652 S-2659 S

Knueven C. (2000)

Sodium bisulfate: A potential new acidifier for the petfood industry
Petfood Industry (6)

Kraft W., Dürr U.M. (1999)

Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin
Schattauer Verlag, Stuttgart, New York

Kraft W., Hirschberger J. (2000)

Kleintierkrankheiten
Band 1: Innere Medizin
Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart

Krohn U. (1993)

Beeinflussung des Säure-Basen-Haushalts von Zuchtsauen durch Futterzusätze
Diss., Hannover

Kruger J.M., Osborne C.A. (1990)

The role of viruses in feline lower urinary tract disease
J. Vet. Int. Med. 4: 71-78

Kruger J.M., Osborne C.A., Goyal S.M., Wickstrom S.L., Johnston G.R., Fletcher T.F., Brown P.A. (1991)

Clinical evaluation of cats with lower urinary tract disease
J. Am. Vet. Med. A. 199 (2): 211-216

Lekcharoensuk C., Lulich J.P., Osborne C.A., Koehler L.A., Ulrich L.K., Carpenter K.A., Swanson L.L. (2000)

Association between patient-related factors and risk of calcium oxalate and magnesium ammonium phosphate urolithiasis in cats
J. Am. Vet. Med. A. 217 (4): 520-525

Lekcharoensuk C., Osborne C.A., Lulich J.P., Pusoonthornthum R. Kirk C.A., Ulrich L.K., Koehler L.A., Carpenter K.A., Swanson L.L. (2001)

Association between dietary factors and calcium oxalate and magnesium ammonium phosphate urolithiasis in cats
J. Am. Vet. Med. A. 219 (9): 1228-1237

Lehninger A.L., Nelson D.L., Cox M.M. (1998)

Prinzipien der Biochemie
Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford

Leugner S. (1988)

Die Ernährung beim feline urologischen Syndrom (F.U.S.)
Wien. tierärztl. Mschr. 3: 105-112

Lewis L.D., Chow F.H.C., Taton G.F., Hamar D.W. (1978)

Effect of various dietary mineral concentrations on the occurrence of feline urolithiasis

J. Am. Vet. Med. A. 178: 559-563

Ling G.V., Franti C.E., Ruby A.L., Johnson D.L. (1990)

Epizootiologic evaluation and quantitative analysis of urinary calculi from 150 cats

J. Am. Vet. Med. A. 196 (9): 1459-1462

Lloyd W.E., Sullivan D.J. (1984)

Effects of orally administered ammonium chloride and methionine on feline urinary acidity

Vet. Med. (6): 773-778

Markwell P.J., Buffington C.T., Smith B.H.E. (1998)

The effect of diet on lower urinary tract diseases in cats

J. Nutr. 128: 2753 S-2757 S

Nakagawa Y., Abrams V., Parks J.H. (1985)

Urine glycoprotein crystal growth inhibitors, evidence for a molecular abnormality in calcium oxalate nephrolithiasis

J. Clin. Invest. 76: 1455-1462

Opitz B., Kienzle E. (1998)

The use of anion-cation gap in nutrition consultation

J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. 80: 128-129

Osborne C.A., Davis L.S., Sanna J., Unger L.K., O'Brien T.D., Clinton C.W., Davenport M.P. (1990)

Identification and interpretation of crystalluria in domestic animals: A light and scanning electron microscopic study

Vet. Med. 85 (1): 18-37

Osborne C.A., Kruger J.M., Lulich J.P., Bartges J.W., Polzin D.J., Molitor T., Beauclair K.D., Onffroy J. (1992)

Feline matrix-crystalline urethral plugs: A unifying hypothesis of causes

J. Sm. Anim. Pract. 33: 172-177

Osborne C.A., Lulich J.P., Kruger J.M., Polzin D.J., Johnston G.R., Kroll R.A. (1990)

Medical dissolution of feline struvite urocystoliths

J. Am. Vet. Med. A. 196 (7): 1053-1063

Osborne C.A., Lulich J.P., Thumchai R., Ulrich L.K., Koehler L.A., Bird K.A., Bartges J.W. (1996)

Feline urolithiasis: Etiology and pathophysiology

Vet. Cl. N. Am.: Sm. Anim. Pract. 26 (2): 217-232

Osborne C.A., Lulich J.P., Thumchai R., Bartges J.W., Sanderson S.L., Ulrich L.K., Koehler L.A., Bird K.A., Swanson L.L. (1996)

Diagnosis, medical treatment, and prognosis of feline urolithiasis

Vet. Cl. N. Am.: Sm. Anim. Pract. 26 (3): 589-627

Pastoor F.J.H., Opitz R., Van't Klooster A.Th., Beynen A.C. (1994)

Substitution of dietary calcium chloride for calcium carbonate reduces urinary pH and urinary phosphorus excretion in adult cats

Vet. Q. 16 (3): 157-160

Pastoor F.J.H., Van't Klooster A.Th., Beynen A.C. (1994)

Calcium chloride as urinary acidifier in relation to its potential use in the prevention of struvit urolithiasis in the cat

Vet. Q. 16 (S 1): 37 S-38 S

Pastoor F.J.H., Opitz R., Van't Klooster A.Th., Beynen A.C. (1994)

Dietary calcium chloride vs. calcium carbonate reduces urinary pH and phosphorus concentration, improves bone mineralization and depresses kidney calcium level in cats

J. Nutr. 124: 2212-2222

Patience J.F., Wolynetz M.S. (1990)

Influence of dietary undetermined anion on acid-base status and performance in pigs

J. Nutr. 120: 579-587

Sanders G, Hesse A. (1985)

Harnsteine bei Katzen, Struvit-Steinbildung ohne Infektion

In: Vahlensieck W., Gasser G. (Hrsg.): Pathogenese und Klinik der Harnsteine XI.

Steinkopff Verlag, Darmstadt

Schuknecht A. (1991)

Untersuchungen zum Einfluss der Fütterung auf den Harn-pH-Wert und die renale Mineralstoffausscheidung bei der Katze

Diss., Hannover

Seefeldt S.L., Chapman T.E. (1979)

Body water content and turnover in cats fed dry and canned rations

Am. J. Vet. R. 40: 183-185

Silbernagl S., Despopoulos A. (1991)

Taschenatlas der Physiologie

Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York

Skoch E.R., Chandler E.A., Douglas G.M., Richardson D.P. (1991)

Influence of diet on urine pH and the feline urological syndrome

J. Sm. Anim. Pract. 32: 413-419

Smith B.H.E., Stevenson A.E., Markwell P.J. (1998)

Urinary relative supersaturations of calcium oxalate and struvite in cats are influenced by diet

J. Nutr. 128: 2763 S- 2764 S

Tarttelin M.F. (1987)

Feline struvite urolithiasis: Factors affecting urine pH may be more important than magnesium levels in food

Vet. Rec. 121: 227-230

Tarttelin M.F. (1987)

Feline struvite urolithiasis: Fasting reduced the effectiveness of a urinary acidifier (ammonium chloride) and increased the intake of a low magnesium diet

Vet. Rec. 121: 245-248

Tarttelin M.F. (1988)

Feline struvite crystalluria: A comparison of some commercially available dry cat diets in New Zealand

N. Z. Vet. J. 36: 125-127

Taton G.F., Hamar D.W., Lewis L.D. (1984)

Evaluation of ammonium chloride as a urinary acidifier in the cat

J. Am. Vet. Med. A. 184 (4): 433-436

Taton G.F., Hamar D.W., Lewis L.D. (1984)

Urinary acidification in the prevention and treatment of feline struvite urolithiasis

J. Am. Vet. Med. A. 184 (4): 437-443

Thumchai R., Lulich J., Osborne C.A., King V.L., Lund E.M., Marsh W.E., Ulrich L.K., Koehler L.A., Bird K.A. (1996)

Epizootiologic evaluation of urolithiasis in cats: 3498 cases (1982-1992)

J. Am. Vet. Med. A. 208 (4): 547-551

Wilms-Eilers S. (1992)

Einfluss von Ammoniumchloridzulagen auf den Säure-Basen- und Mineralstoffhaushalt der Katze

Diss., Hannover

9 Danksagung

Ich bedanke mich herzlich bei Herrn Prof. Dr. W. A. Rambeck für die Überlassung des Themas. Seine freundlichen und aufmunternden Worte sowie seine stete Hilfsbereitschaft waren eine große Stütze bei der Durchführung der Arbeit.

Ein besonderes Danke möchte ich an Dr. Ulrich Wehr richten, an den ich mich jederzeit mit meinen Fragen wenden konnte. Mit großer Hilfsbereitschaft und großer Fähigkeit zur Motivation hat er die Entstehung dieser Arbeit betreut.

Ein großes Dankeschön gilt auch Dr. Nadine Kasbeitzer, die mir bei der Durchführung des experimentellen Teils dieser Fütterungsstudie mit vielen Anregungen bei der Lösung verschiedenster praktischer Schwierigkeiten hilfsbereit zur Seite stand. Nicht zuletzt durch die freundliche Atmosphäre an der Außenstelle des Lehrstuhls für Tierernährung und Diätetik, Oberwiesenfeld, hatte ich viel Spaß an der praktischen Arbeit mit den Katzen.

Dr. Britta Dobenecker danke ich für die kompetenten Tipps und Ratschläge.

Den Mitarbeitern an der Außenstelle Oberwiesenfeld, insbesondere Nadja, Gabi, Chrissi, Jenny, Adrian, Kim und Uli, möchte ich ebenfalls ganz herzlich für ihre große Hilfsbereitschaft und freundliche Aufnahme danken, wodurch die Versuchsphase der Studie eine wirklich schöne Zeit war.

Frau Stadler danke ich für die vielen hilfreichen Anregungen und die freundliche Unterstützung bei den kleineren Laborarbeiten in der Außenstelle Oberwiesenfeld.

Für die tatkräftige und jederzeit hilfsbereite Unterstützung bei der Durchführung der Laborarbeiten in Oberschleißheim möchte ich Werner Hesselbach, Jelena Lazik sowie allen anderen Institutsmitarbeitern herzlich danken.

Bei den Mitarbeitern des Labors der I. Medizinischen Tierklinik bedanke ich mich für die geleisteten Untersuchungen.

Ganz besonders großer Dank gilt meiner Mutter, die mir durch ihre finanzielle Unterstützung mein Studium sowie die Durchführung der Doktorarbeit erst ermöglicht hat. Danke für das in mich gesetzte Vertrauen, die große Anerkennung dieser Arbeit und insbesondere die Geduld.

Tausend Dank auch an meine große Schwester, die mich, wo immer sie konnte, unterstützt hat. Ihr Rückhalt war mir in den letzten Jahren eine große Hilfe.

Bei Nadja möchte ich mich für die vielen Stunden im Café bedanken, in denen sie sich geduldig über den Stand meiner Doktorarbeit informieren ließ und mich großzügig mit Kaffee versorgte.

Großer Dank gebührt nicht zuletzt den Katzen, die mir jeden Tag viel Freude bereitet haben.

10 Lebenslauf

Name	Gesa Arens
Geburtsdatum	04.08.1975
Geburtsort	München
Vater	Dr. Roman Arens, Journalist
Mutter	Ruth Drolshagen, Referentin
Geschwister	Janka Arens, Redakteurin Lena Arens, Studentin
Schulausbildung	
1982-1986	Nadischule, München
1986-1995	Willi-Graf-Gymnasium, München
30. Juni 1995	Allgemeine Hochschulreife
Hochschulausbildung	
1997-2004	Studium der Veterinärmedizin an der Ludwig-Maximilians-Universität, München
17. März 2004	Approbation als Tierärztin
April 2004-März 2006	Anfertigung der vorliegenden Doktorarbeit am Institut für Physiologie, Physiologische Chemie und Tierernährung, Lehrstuhl für Tierernährung und Diätetik der Ludwig-Maximilians-Universität, München